

АГЕНТСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
(АПНИ)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

Сборник научных трудов
по материалам
IX Международной научно-практической конференции

г. Белгород, 31 марта 2015 г.

В шести частях
Часть II



Белгород
2015

УДК 001
ББК 72
Т 33

Теоретические и прикладные аспекты современной науки :
Т 33 сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции 31 марта 2015 г.: в 6 ч. / Под общ. ред. М.Г. Петровой. – Белгород : ИП Петрова М.Г., 2015. – Часть II. – 152 с.

ISBN 978-5-9906520-7-1

ISBN 978-5-9906520-9-5 (Часть II)

В сборнике рассматриваются актуальные научные проблемы по материалам IX Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные аспекты современной науки» (г. Белгород, 31 марта 2015 г.).

Представлены научные достижения ведущих ученых, специалистов-практиков, аспирантов, соискателей, магистрантов и студентов по наукам о земле и техническим наукам.

Информация об опубликованных статьях предоставляется в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) по договору № 690-11/2014 от 05.11.2014 г.

Электронная версия сборника находится в свободном доступе на сайте:
www.issledo.ru

УДК 001
ББК 72

ISBN 978-5-9906520-7-1
ISBN 978-5-9906520-9-5 (Часть II)

© Коллектив авторов, 2015
© ИП Петрова М.Г. (АПНИ), 2015

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «НАУКИ О ЗЕМЛЕ»	5
<i>Никитина Е.И.</i> ФОСФАТОНОСНЫЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ТАТАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)	5
<i>Николаева О.Н.</i> ОБ ИНТЕРАКТИВНОМ СОЗДАНИИ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ.....	10
<i>Полещук Л.О.</i> КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ СИБИРИ.....	15
<i>Семягин И.Н., Курбанова С.Г.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАКТОРОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ДЕФОРМАЦИИ РУСЕЛ.....	18
СЕКЦИЯ «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»	22
<i>Алексеева Т.В., Науменко В.Б., Зяблов М.М., Веснина А.А.</i> ПАСТЫ КОНДИТЕРСКИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА	22
<i>Алексеева Т.В., Родионов А.А., Калгина Ю.О., Ларина Т.П.</i> РАЗРАБОТКА АССОРТИМЕНТА МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ФРАКЦИЯМИ НИЗКОМАСЛИЧНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ.....	24
<i>Балгабеков Т.К., Максutowa Ж.К.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ.....	26
<i>Бастрыгина С.В., Конохов Р.В.</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ БЕТОННЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ЗАДЕЛОК НА РЕЖИМ РАБОТЫ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ	33
<i>Белогурова Т.П., Цырятъева А.В., Миханюшина И.А.</i> ИЗУЧЕНИЕ ЗОЛОТХОДОВ ОТ СЖИГАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ	36
<i>Бертяев В.Д., Митяев А.Г., Ткач О.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РЕДУКТОРА ПРИ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТАХ МЕХАНИЗМА	39
<i>Булат М.П.</i> МАХОВСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ОТ ОСИ СИММЕТРИИ СВЕРХЗВУКОВОЙ НЕИЗОБАРИЧЕСКОЙ СТРУИ.....	46
<i>Бут Р.О., Драч В.Е., Чухраев И.В.</i> УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС КООРДИНАТНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОЛЛИМАТОРНОГО МЕТОДА АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	58
<i>Вилкова М.Р.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ МОДЕЛЕЙ ОДЕЖДЫ.....	60
<i>Виноградов К.М.</i> РАСЧЕТ РОТОРА СИНХРОННОЙ РЕАКТИВНОЙ МАШИНЫ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ	63
<i>Гавришченко В.С., Королев М.С., Семухин М.В.</i> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАЦМАЛЬНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ УЧАСТКОВ РАЗРЕЗОВ СКВАЖИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИС	66
<i>Извозчикова В.В., Черкасова А.А.</i> ВЫДЕЛЕНИЕ ИЕРАРХИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНТОЛОГИЙ	75
<i>Ильина Т.Е., Булат М.П.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ КОЛОДОК ГАЗОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА С ЩЕЛЕВЫМИ СОПЛАМИ.....	77

Караваяев И.В., Румянцева В.Е., Караваяев В.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКРЫТИЯ НА АНКЕРОВКУ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ	84
Крылов Ю.Д. РАЗМЕЩЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ	87
Медяков А.А., Каменских А.Д. КАТАЛИТИЧЕСКИЙ ОБОГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ	91
Плешивцева Ю.Э., Дьяконов А.И., Попов А.В. МОДЕЛЬНЫЕ ДВУМЕРНЫЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ПО ТИПОВЫМ КРИТЕРИЯМ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ РЕЖИМАМИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА.....	94
Поленов Д.Ю. ОСОБЕННОСТИ РАКЕТНОГО РАДИОКАНАЛА.....	104
Поспехов В.Г., Крюков А.В. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ПАНКРАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТИВА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА.....	110
Семенов К.Д., Медяков А.А., Каменских А.Д., Онучин Е.М. ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ГИБКОГО МАНИПУЛЯТОРА	122
Сергеев С.В., Некрутов В.Г., Иршин А.В., Мальцев П.С. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРАЦИОННОГО СМЕСИТЕЛЯ.....	126
Сизиков В.П. ТУРБУЛЕНТНОСТЬ: СИСТЕМНЫЙ СТАТУС И УПРАВЛЕНИЕ	129
Скоморохов О.В. КОМПЛЕКС ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.....	137
Тихомирова А.Н., Сивцов А.С., Загоровский В.И. ПОСТРОЕНИЕ МАРШРУТА НАИМЕНЬШЕЙ СТОИМОСТИ НА СЛОЖНОМ ЛАНДШАФТЕ	141
Христолюбова В.И., Абдуллин И.Ш., Хубатхузин А.А. ВЧ ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 20 ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ, ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИЗДЕЛИЯ	145
Христолюбова В.И., Абдуллин И.Ш., Хубатхузин А.А. УПРОЧНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ АГРЕССИВНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА 1 К 100 С ПОМОЩЬЮ ВЧ-ПЛАЗМЫ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ.....	147
Bodin O.N., Polosin V.G., Seregin O.S. MONITORING ELECTROPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF HEART	149

**ФОСФАТОНОСНЫЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ТАТАРСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)**

Никитина Е.И.

доцент кафедры химии Сибирского государственного университета
путей сообщения, канд. геол.-минер. наук, доцент,
Россия, г. Новосибирск

В статье рассмотрены вопросы строения, состава и минерагенических особенностей кор выветривания карбонатитов линейного типа Татарского месторождения (Енисейский кряж).

Ключевые слова: карбонатиты, апатит, коры выветривания, фосфор.

Апатит-франколитовые коры выветривания на карбонатитовом субстрате представляют собой одну из наиболее продуктивных формаций, включающую в себе значительные ресурсы фосфора.

Наиболее распространенными и до недавнего времени считавшиеся единственным морфологическим типом являются карбонатитовые комплексы “центрального” типа (Ковдорский, Кийский, Чуктуконский и др. массивы). Данные комплексы характеризуются округлой или овальной формой, в большинстве случаев с кольцевым расположением слагающих их пород. В пределах комплекса карбонатиты образуют штокообразные тела, конические жилы, дайки и имеют непосредственную связь с магматическими щелочными породами. Карбонатитовые комплексы “центрального” типа являются типичными проявлениями платформенного магматизма, формирование которых отделяется во времени от завершения стабилизации складчатых областей и установления платформенного режима и происходит в условиях локального подъема глубинного вещества, сопровождающегося резким нарушением залегания вмещающих пород с образованием куполообразных структур. Формирование карбонатитовых комплексов “центрального” типа происходит в условиях глубокой дифференциации как всего магматического комплекса в целом, так и карбонатитовой фракции, и характеризуется многостадийностью и полифазальностью.

Карбонатитовые комплексы иного морфологического типа связаны с линейными зонами карбонатитов, которые непосредственно связаны с региональными глубинными разломами и прослеживаются вдоль них на многие километры. К данному морфологическому типу относится Татарская зона на Енисейском кряже, Черниговская зона на Украине, Увельдинская зона на Урале и многие другие [1, с. 413; 2, с. 115]. Карбонатитовые комплексы линейного типа непосредственно не связаны с магматическими щелочными породами, но сопровождаются мощными ореолами щелочных метасоматитов, в большинстве случаев, сопоставимых по мощности с телами карбонатитов, и залегают согласно с вмещающими осадочно-метаморфическими толщами.

Формирование карбонатитов и щелочных метасоматитов происходит в зоне активного разлома на фоне тектонических напряжений, что обуславливает их ориентированную текстуру, субпараллельную ориентировке вмещающих пород. Формирование зон линейных карбонатитов и щелочных метасоматитов происходило до окончательной стабилизации подвижной зоны, которая на значительном временном протяжении была проницаема для продуктов дифференциации мантийного вещества, а также в условиях сравнительно постоянного температурного режима, чем определяется одностадийность и монофациальность карбонатитов и, как правило, отсутствие в ассоциации с карбонатитами более высокотемпературных щелочных силикатных магматических пород [4, с. 36; 3, с. 70].

Татарское месторождение гипергенных фосфатных руд и связанные с ними поля развития карбонатитов и щелочных метасоматитов приурочено к западному крылу Татарской антиклинальной зоны на Енисейском крыже и контролируется Панимбинско-Мурожнинским глубинным разломом, южнее сочленяющимся с Татарским глубинным разломом и разломом Мейстера. Татарская антиклинальная зона представляет собой крупную (35×8 км) брахиантиклинальную структуру с почти плоским сводом, крутым (65-80°) западным и более пологим восточным крылом. Ядро структуры сложено Татарским гранитным массивом, вокруг которого концентрически залегают отложения нижнего-верхнего протерозоя с телами основных пород. Нижнепротерозойские отложения представлены кальцитовыми и доломитовыми мраморами, кварцитовидными песчаниками, сланцами. Содержание P_2O_5 в сланцах достигает 1-2%, в кальцитовых мраморах 0,03-0,05%, в доломитовых мраморах – 0,06-0,1%. Верхнепротерозойские отложения представлены сланцами кварц-серицитовыми, кварц-биотитовыми, серицит-хлорит-кварцевыми и линзами кварцитовидных песчаников. По мнению ряда исследователей [4, с. 32] фосфатсодержащий комплекс карбонатитов и щелочных метасоматитов сформировался в зоне глубинного разлома в результате преобразования литологически неоднородной метаморфической толщи под воздействием мощного потока глубинных щелочных растворов. Повсеместно по породам рудоносного комплекса развиты мезозойско-кайнозойские коры выветривания достигающие мощности 100-120 м, а на отдельных участках 300 и более метров. Содержание P_2O_5 в гипергенных образованиях колеблется от первых процентов до первых десятков процентов.

Карбонатиты и щелочные метасоматиты, сформировавшиеся в зоне глубинного разлома в результате метасоматического преобразования, литологически неоднородной толщи, образуют субмеридиональную зону, прослеживаемую по простирацию более чем на 22 км при ширине 2,0-2,5 км. В пределах зоны карбонатиты образуют согласные с залеганием вмещающей толщи реже кососекущие пластообразные тела. Протяженность линейно-вытянутых тел карбонатитов и щелочных метасоматитов достигает 2,5 км, мощность – до 120 м.

Субстратом для фосфатоносных кор выветривания явились карбонатиты и щелочные метасоматиты, причем ореолы метасоматически измененных

пород, как правило, не уступают по мощности карбонатитам. Наибольшим распространением пользуются доломитовые карбонатиты, реже встречаются кальцитовые и кальцит-доломитовые карбонатиты. Доломитовые карбонатиты – это средне- и крупнозернистые породы, состоят из железистого доломита (50-60%), флогопита и магнезиоарфведсонита (до 15-30%), пирротина (3-5%). Апатит занимает 10-15% объема пород. В значительных количествах встречаются пирит, халькопирит, пирохлор, циркон, ильменорутил, молибденит. Доломитовые карбонатиты содержат от 2,09 до 5,74% P_2O_5 при среднем содержании 4,06% P_2O_5 . В отличие от типичных карбонатитов, карбонатиты Татарского месторождения имеют весьма простой минеральный состав: доломит, щелочной амфибол, колумбит, флогопит, апатит, пирохлор, пирротин. Основные силикатные минералы представлены железистым флогопитом и щелочными амфиболами ряда арфведсонит-эккерманит, отсутствуют оливин, нефелин, диопсид. Среди аксессуаров не встречаются такие типоморфные для карбонатитов минералы как бадделейт, дизаналит, циркелит, кальцитрит. Наряду с типичной для классических карбонатитов геохимической специализацией по ниобию, стронцию, барию, марганцу, торию, в карбонатитах Татарского месторождения почти не содержится цирконий и тантал. На данном этапе изученности района месторождения не установлена генетическая связь карбонатитов с ультраосновными щелочными или щелочными комплексами пород.

Карбонатиты сопровождаются мощными ореолами щелочных метасоматитов, образующихся в результате глубокого преобразования вмещающих пород. Состав метасоматитов определяется составом замещаемых пород. Апосланцевые альбититы и амфибол-альбитовые метасоматиты развиваются по кварц-биотитовым и двуслюдяным сланцам. Апатит в метасоматитах находится в незначительных количествах (среднее содержание P_2O_5 0,31%), немного превышая кларковые содержания фосфора для сланцев. Апоамфиболитовые амфибол-альбит-флогопитовые, альбит-флогопитовые и альбитовые метасоматиты развиваются по массивным и сравнительно однородным породам. В неизмененных амфиболитах и развитых по ним щелочных метасоматитах содержания P_2O_5 не превышают 0,32%. Слюдиты и амфибол-флогопитовые метасоматиты развиваются в экзоконтактах доломитовых карбонатитов, отделяя их от вмещающих сланцев и апосланцевых метасоматитов. Они наблюдаются также в виде прослоев и линз в приконтактовых частях тел доломитовых карбонатитов. Содержание P_2O_5 в слюдитах и амфибол-флогопитовых метасоматитах колеблется от 5,93 до 6,17%, составляя в среднем 6,05%.

Апатит является породообразующим минералом доломитовых карбонатитов, слюдитов и амфибол-флогопитовых метасоматитов. Во всех остальных разновидностях пород он является второстепенным и аксессуарным минералом. Апатит образует удлиненно-округлые зерна размером от 0,6 до 5,5 мм белой, бледно-зеленой или слегка желтоватой окраски, группирующиеся в гнезда, мономинеральные зоны, линзы, ориентированные вдоль полосчатости пород. Подавляющая часть апатита свободна от минеральных включений,

в редких случаях он образует сростки с амфиболом, доломитом, пирротинном и пирохлором. По химическому составу минерал относится к фторапатиту с повышенным содержанием (вес. %) фтора (F до 3,12), редких земель (TR_2O_3 до 1,21) стронция (SrO до 1,61).

На всей площади месторождения, почти повсеместно, развиты инфильтрационно-остаточные линейные и линейно-карстовые фосфатоносные коры выветривания, представленные в различной степени выветрелыми породами песчано-алевритовой размерности, структурными глинами или бесструктурным охристым или охристо-глинистым материалом. Вследствие неравномерного развития процессов выветривания, нижняя граница кор выветривания неровная, а мощность их меняется от нескольких метров до 100 и более метров, достигая на отдельных участках 300 метров. Формирование фосфатоносных продуктов выветривания происходило на достаточно неоднородном субстрате с примерно равными содержаниями P_2O_5 : 4,06% – в доломитовых карбонатитах; 6,05% – в амфибол-флогопитовых метасоматитах.

Профиль выветривания карбонатитов и щелочных метасоматитов Татарского месторождения представлен двумя зонами: зоной дезинтеграции и зоной охристых продуктов выветривания.

Зона дезинтеграции карбонатитов и щелочных метасоматитов представляет собой нижнюю часть профиля выветривания и является наиболее выраженной. По химическому составу продукты дезинтеграции являются переходными между материнскими породами и охрами. При дезинтеграции карбонатитов происходит частичное выщелачивание карбонатной составляющей, содержание CaO снижается с 27,83 до 18,84%, MgO – с 16,14 до 13,26%. За счет частичного выноса карбонатов происходит увеличение содержания оксидов железа (с 6,50 до 12,70%), кремния (с 4,72 до 15,46%), титана (с 0,12 до 0,43%), алюминия (с 0,79 до 3,40%) в 2 раза и более. В зоне дезинтеграции апатит устойчив, происходит частичное его накопление, содержание P_2O_5 увеличивается с 4,06% в неизмененных карбонатитах, до 7,66% в продуктах дезинтеграции. Увеличение содержания P_2O_5 обусловлено не только перераспределением содержаний оксидов основных элементов за счет частичного выноса, но и за счет переотложения и концентрирования фосфора из верхних горизонтов профиля выветривания в форме инфильтрационного вторичного карбонатгидроксилфторапатита – франколита, наблюдающегося в виде корочек и натечных образований в пустотах и трещинах. Щелочные метасоматиты на начальных этапах гипергенеза претерпевают гораздо менее интенсивные преобразования, по сравнению с карбонатитами, которые заключаются, в основном, в гидратации слюд и выщелачивании входящих в состав метасоматитов карбонатов. В общем виде зона дезинтеграции карбонатитов и щелочных метасоматитов представлена сильно трещиноватыми, непрочными породами, обохренным щебнем и песком тех же пород с редкими корочками и натечными образованиями франколита, сцементированных охристо-глинистым материалом. Карбонатиты и щелочные метасоматиты в зоне дезинтеграции сохраняют текстурно-структурные особенности материнских пород.

Охристые и глинисто-охристые продукты выветривания составляют верхнюю зону профиля выветривания карбонатитов и щелочных метасоматитов. Они имеют преимущественно размытые границы с продуктами зоны дезинтеграции и почти повсеместно сложены однородным, относительно выдержанным по составу темно-бурым, черным, желтовато-коричневым, вишневым тонкодисперсным материалом на 70-85% и более состоящим из гётита, гидрогётита, пиролюзита. В качестве характерных второстепенных минералов присутствуют кварц, каолинит, крандаллит, стронциевый, бариевый и редкоземельный пирохлор. Ильменорутит, апатит и циркон содержатся в незначительных количествах. Карбонатиты и щелочные метасоматиты характеризуются наиболее глубоким преобразованием минерального состава. Выщелачиваются первичные карбонаты и сульфиды, разлагаются и растворяются силикаты, алюмосиликаты и апатит, образуются вторичные двойные водные фосфаты алюминия со стронцием, барием, редкими землями (крандаллит, флоренсит, гойяцит), а также вторичный монацит (рабдофанит), широко распространены вторичные сульфаты (барит). В составе охристых и глинисто-охристых продуктов выветривания карбонатитов и щелочных метасоматитов ведущая роль принадлежит продуктам конечного гидролиза первичных минералов, представленными оксидами и гидроксидами железа и марганца (гётит, гидрогётит, псиломелан, пиролюзит), а также другим минералам, образующимся в результате глубокого химического преобразования карбонатитов и щелочных метасоматитов. Для охристых и глинисто-охристых продуктов выветривания характерны высокие содержания оксидов железа и марганца 40,62 и 5,96% соответственно. Железо и марганец обладают пониженной миграционной способностью в зоне гипергенеза, почти все их количество, первоначально заключенное в карбонатах, силикатах, апатите и сульфидах, окисляется и осаждается в пределах этой же зоны в виде оксидов и гидроксидов. Оксиды железа и марганца еще больших содержаний 59,16 и 6,10% соответственно, достигают в тонкодисперсных охрах, представляющих верхнюю, самую проработанную часть зоны глинисто-охристых продуктов выветривания, в основном лишенную наиболее подвижных сильных оснований Ca, Mg, Na, K. Формирование продуктов зоны глинисто-охристых продуктов выветривания происходит в условиях активного воздействия на исходные породы кислой (pH 4-6), насыщенной кислородом жидкой фазы, что приводит к полному выщелачиванию апатита, лишь незначительная его часть сохраняется в верхних частях профиля выветривания в виде неправильных, корродированных зерен с пленками оксидов железа. Алюмофосфаты – крандаллит и флоренсит пользуются незначительным распространением, они встречаются локально, не образуя выдержанных горизонтов. Значительное количество фосфора в виде легкорастворимых солей и коллоидов мигрирует из наиболее активной зоны интенсивной аэрации и осаждается в нижних зонах профиля выветривания, где отмечаются горизонты, резко обогащенные вторичным карбонатгидроксилфторапатитом – франколитом (до 20-30%) [5, с. 168].

Таким образом, коры выветривания карбонатитов и щелочных метасоматитов и генетически с ними связанные зоны вторичного фосфатного обогащения обладают значительным сырьевым потенциалом фосфора и других элементов и представляют наибольший промышленный интерес.

Список литературы

1. Багдасаров Ю.А. Линейно-трещинные тела карбонатитов – новая субформация ультраосновных-щелочных карбонатитовых комплексов // Докл. АН СССР, 1979. Т.248, №2. – С.412-415.
2. Глевасский Е.Б., Кривдик С.К. Докембрийский карбонатитовый комплекс Приазовья. – Киев: Наук. Думка. – 1981. – 227 с.
3. Лапин А.В., Плошко В.В. Формационно-морфологические типы и геолого-тектонические режимы формирования карбонатитов // Изв. АН СССР. – 1988. – № 1. – С. 66-73.
4. Лапин А.В., Плошко В.В., Малышев А.А. Карбонатиты зоны Татарского глубинного разлома на Енисейском кряже // Геология рудных месторождений. – 1987. – № 1. – С.30-45.
5. Никитина Е.И. Особенности поведения апатитсодержащих карбонатитов в зоне гипергенеза // Национальная ассоциация ученых (НАУ): Ежемесячный научный журнал. – 2015. – №2 (7), часть 4. – С. 167-169.

ОБ ИНТЕРАКТИВНОМ СОЗДАНИИ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

Николаева О.Н.

доцент кафедры экологии и природопользования Сибирского государственного университета геосистем и технологий, канд. техн. наук, доцент,
Россия, г. Новосибирск

В статье рассматриваются вопросы создания картографических произведений для пользователей, занятых в управлении природными ресурсами и планировании природопользования, но не имеющих специальной картографической подготовки. В качестве таких произведений предлагаются картографические модели природных ресурсов. Охарактеризована технология интерактивного создания этих моделей с участием пользователя.

Ключевые слова: природные ресурсы, картографирование природных ресурсов, картографические модели, формализация пользовательского запроса, технология.

Залогом эффективного управления природными ресурсами и рационального ведения природопользования в пределах региона являются детальная инвентаризация и оценка современного состояния природных ресурсов, а также учет динамики изменения ресурса во времени и пространстве под влиянием человека или в результате вовлечения в эксплуатацию смежных видов ресурсов. Для решения этих задач необходимо системное рассмотрение природных ресурсов, позволяющее анализировать взаимосвязи между ресурсами и прогнозировать их изменения при различных сценариях экономического развития региона.

Картографирование природных ресурсов формирует информационную основу и методическую базу для решения управленческих задач в сфере природопользования. Его продукцией являются картографические модели природных ресурсов, отображающие современное состояние и перспективы использования всех основных видов природных ресурсов (воздушных, водных, земельных, лесных, минеральных, фаунистических) [2, с. 108]. Картографические модели природных ресурсов создаются путем интеграции разнородных данных о природных ресурсах (данных дистанционного зондирования Земли, данных кадастров и статистики природных ресурсов), что обеспечивает высокую информативность и современность их тематического содержания. Будучи объединены общими принципами и правилами их проектирования [3, с. 114], картографические модели природных ресурсов в совокупности образуют систему, которая предоставляет всестороннюю и подробную характеристику природных ресурсов региона конечному пользователю – специалисту в области управления природопользованием, который использует их как научно-справочное пособие при планировании различных мероприятий по использованию или охране природных ресурсов.

Однако следует отметить, что специалисты в области управления природопользованием в силу особенностей их профессиональных компетенций не имеют специальной подготовки в области картографии и наук о Земле. Поэтому они владеют сравнительно малым опытом в области использования картографических продуктов и геоинформационных технологий. Одной из задач современного природно-ресурсного картографирования является упрощение работы пользователей с картографическим обеспечением и разработка технологии, которая позволила бы пользователям самостоятельно осуществлять моделирование и визуализацию природно-ресурсных данных в соответствии с индивидуальными требованиями.

Картографические модели природных ресурсов могут использоваться для решения различных научных, прикладных и образовательных задач [2, с. 110]. Из всего этого разнообразия моделей специалистами в области управления природопользованием востребованы картографические модели природных ресурсов, которые имеют хозяйственное назначение. Они содержат ограниченный круг показателей, позволяющий оценить качественные, количественные и эксплуатационные характеристики природных ресурсов для решения четко определенного круга задач по развитию природопользования региона. С учетом этого, к картографическим моделям природных ресурсов для специалистов в области управления природопользованием предъявляются следующие требования:

- современность и достоверность данных о природных ресурсах, предоставляемых пользователю;
- наглядность и понятность пользователю результирующих картографических моделей природных ресурсов, предоставляемых в ответ на запрос;
- удобство работы пользователя с моделью, полученной в результате выполнения запроса.

Очевидно, что в технологии создания картографических моделей природных ресурсов для данного вида пользователей значительную роль будет играть процесс формализации картографического представления природно-ресурсных данных.

Формализация процесса создания картографических моделей природных ресурсов предполагает четкое пошаговое описание этого процесса, опирающееся на ряд принципов, которые определяют характеристики картографируемых показателей и методику создания модели. Эти принципы заключаются в следующем [1, с. 92]:

1) Минимальное участие конечного пользователя в процессе создания картографической модели природного ресурса.

2) Выполнение пользовательского запроса должно базироваться на использовании качественных и количественных показателей, официально утвержденных и принятых при ведении Российской государственной статистики.

3) Для визуализации результатов пользовательского запроса целесообразно применять способы картографического отображения, выбранные с учетом характера распространения картографируемых объектов (явлений) и специфики их отображаемых показателей.

4) Технологическая последовательность выполнения запроса должна предусматривать возможность размещения полученной картографической модели в сети Интернет.

Опора на формализованное исполнение пользовательского запроса позволяет разработать технологию интерактивного создания картографических моделей природных ресурсов (рис. 1). Ее основные этапы подразделены на два блока: действия пользователя, которые должны быть выполнены в начале создания картографической модели природного ресурса, и действия, которые осуществляются автоматически, внутри природно-ресурсной информационной системы, отвечающей за хранение и моделирование исходных данных для создания системы картографических моделей природных ресурсов региона.

Как видно из рис. 1, действия пользователя выполняются в 4 основных этапа, на которых пользователь осуществляет выбор, обусловленный характером поставленной перед ним задачи и особенностями темы создаваемой картографической модели природных ресурсов.

На первом этапе пользователь формулирует для себя свой запрос, определяясь, какую задачу он намерен решить, и какие данные ему для этого требуются.

На втором этапе пользователь выбирает тему создаваемой картографической модели с учетом того, к какому компоненту окружающей среды принадлежит интересующий его природный ресурс (климатический, водный, земельный, минеральный, ресурс животного или растительного мира).

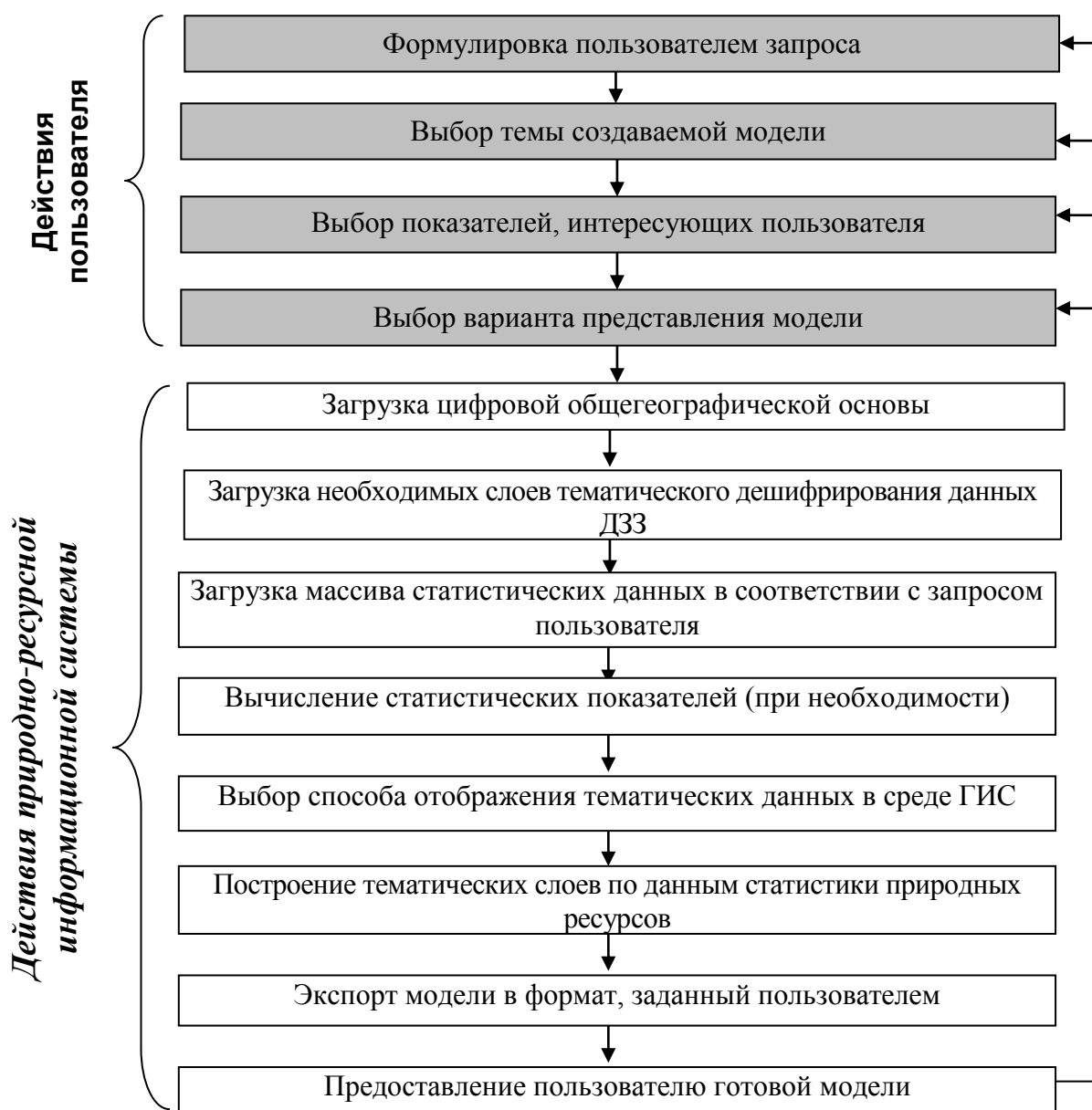


Рис. 1. Принципиальная технология интерактивного создания картографической модели природного ресурса для специалистов в области управления природопользованием

На третьем этапе пользователь выбирает показатели состояния ресурса, которые он считает необходимыми для решения стоящей перед ним задачи. Выбор осуществляется из заранее определенного списка показателей, сформированного на основании перечня показателей состояния природных ресурсов, которые официально используются при ведении Государственных кадастров природных ресурсов (водного, земельного, лесного и пр.), и Государственной статистики природных ресурсов. Это обеспечивает стандартизацию тематического содержания создаваемой картографической модели независимо от того, на какую территорию и в каком масштабе она создается.

На четвертом этапе пользователь выбирает способ представления создаваемой модели (цифровая или электронная карта, 3D-модель или картографическая анимация). В финале созданная картографическая модель экспортируется в выбранный пользователем формат и предоставляется ему либо в виде визуализации на мониторе, либо в виде файла (группы файлов) на жестком дис-

ке компьютера. Ознакомившись с представленной информацией, пользователь может вернуться на любой из четырех начальных этапов технологии, и повторить процесс построения модели, используя другие исходные данные.

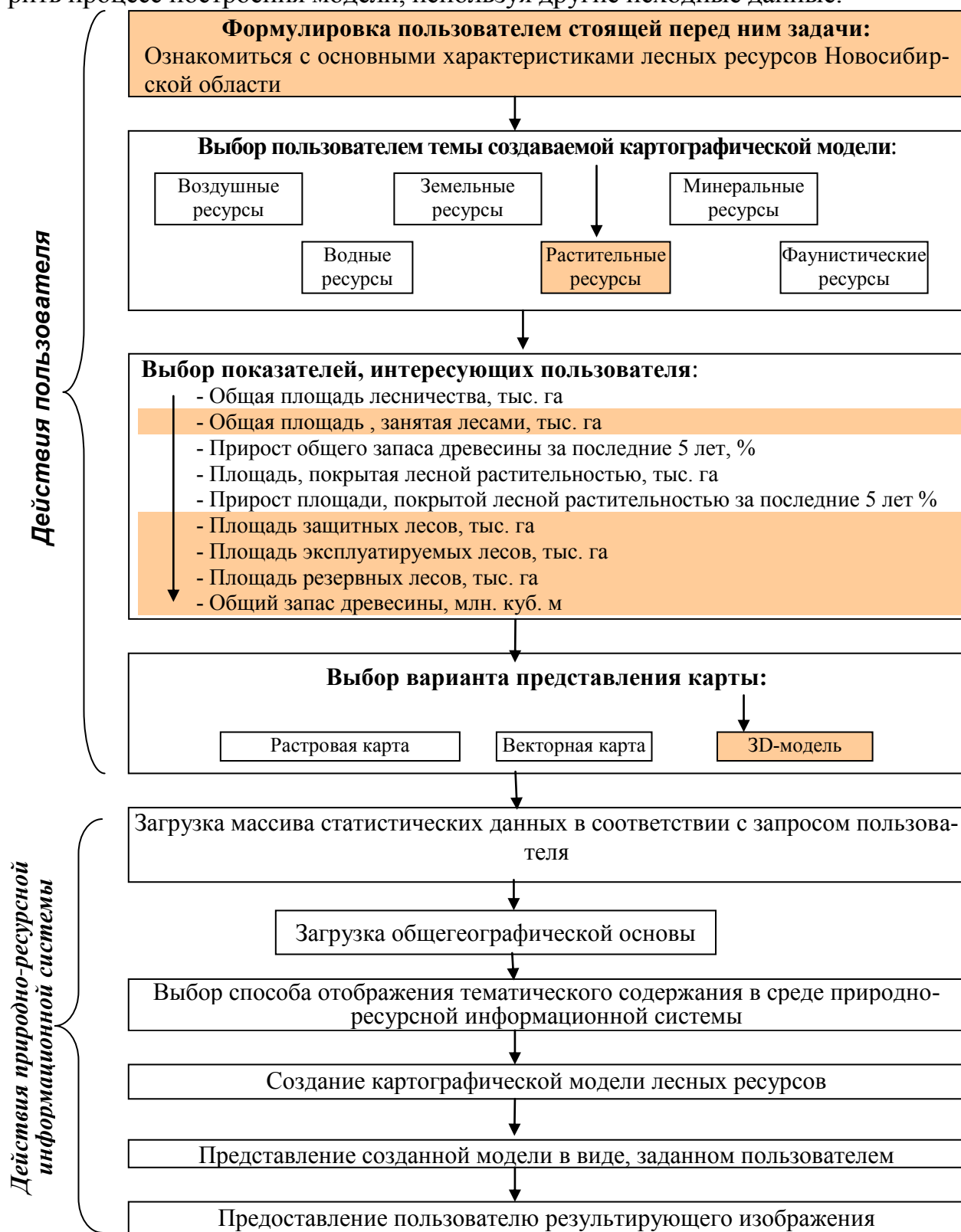


Рис. 2. Технология интерактивного создания хозяйственной картографической модели лесных ресурсов Новосибирской области

На рисунке 2 представлена адаптация этой технологии для интерактивного создания картографической модели лесных ресурсов Новосибирской области. Результаты выбора пользователя выделены цветом.

Разработанная технология интерактивного создания картографических моделей природных ресурсов позволяет пользователю создавать индивидуализированные картографические произведения, ориентированные на решение конкретной задачи по управлению природными ресурсами для целей их рациональной эксплуатации. Полученная продукция характеризуется информативностью, достаточной для решения хозяйственных задач, а ее оформление соответствует картографическим нормам и правилам. Это обеспечивает удобство пользования картографическими моделями природных ресурсов и повышает их доступность для специалистов, не имеющих профессиональной подготовки в области картографии.

Список литературы

1. Николаева О. Н. Научно-методические основы формализации процессов составления тематических карт для реализации ГИС [Текст] / С.С. Дышлюк, О.Н. Николаева, Л.А. Ромашова, С.А. Сухорукова // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 5. – С. 91-93.
2. Николаева О. Н. О совершенствовании информационного обеспечения картографирования природных ресурсов [Текст] / О. Н. Николаева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013: IX Междунар. науч. конгр., 15-26 апр. 2013 г., Новосибирск; Междунар. науч. конф. "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология": сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГГА, 2013. – Т.2. – С.107-112.
3. Николаева О. Н. Применение картографических моделей природных ресурсов для системного планирования и ведения рационального природопользования [Текст] / Л. А. Пластинин, О. Н. Николаева // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/1. – С. 113-116.

КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ СИБИРИ

Полещук Л.О.

студентка кафедры краеведения и туризма Национального
исследовательского Томского государственного университета,
Россия, г. Томск

В данной статье рассматривается культурно-исторический потенциал национальных парков Сибири. В настоящее время на территории Сибирского региона расположено 8 национальных парков, каждый из которых обладает значительным культурным и историческим потенциалом для развития на их территории туризма.

Ключевые слова: Национальный парк, Сибирь, культурный потенциал, исторический потенциал.

Объектом нашего интереса являются национальные парки (НП) Сибири. Уникальность и разнообразие природы данного региона сочетается с обширным культурно-историческим потенциалом. Сохранение и восстано-

ние культурно-исторических объектов относятся к числу основных задач парков, что закреплено в действующих федеральных законах. Культурно-исторический потенциал любого НП выражен, прежде всего, в его историческом наследии. К культурному наследию следует относить общественно признанные материальные и духовные ценности, сохраняемые обществом для поддержания социальной и этнической идентичности. Культурно-историческое наследие парков включает в себя: комплекс археологических объектов, памятников культового зодчества, усадебно-парковой архитектуры, многочисленные памятные места Первой и Второй мировых войн. Наличие уникальных исторических объектов может предопределить успешное развитие туризма в парке [3].

В настоящее время на территории Сибири находится 8 НП (Забайкальский, Прибайкальский, Тункинский, Шушенский бор, Алханай, Чикой, Шорский и Сойлюгемский), суммарная площадь которых составляет 32442,34 км² (это 0,18 % от площади страны). Они расположены в пределах 6 субъектов РФ (Республика Бурятия, Иркутская область, Красноярский край, Забайкальский край, Кемеровская область и республика Алтай), при этом их основная доля приходится на Восточную Сибирь. Следует отметить, что на достаточно большой площади (12,6 млн км²) расположено очень мало НП. Тем не менее, их территории обладают значительным природным и культурно-историческим потенциалом для развития туризма.

Исторические и культурные достопримечательности сосредоточены главным образом в Восточной Сибири. Одним из богатейших в культурно-историческом плане парком является Прибайкальский. В 1996 г. он был включен в список Всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО. По количеству археологических памятников Прибайкальский парк превосходит любой другой в регионе. Их полный перечень включает чуть более 1000 объектов. Главным образом они сосредоточены на острове Ольхон (древнейшие городища, остатки каменных стен, каменные могилы и пр.). Среди них есть великолепные, по своей технике, образцы древней культуры и искусства. Мировую известность получили наскальные рисунки на белом мраморном утесе Саган-Заба. Они включают в себя: изображения шаманов, оленей, лебедей. Также наскальные «картинные галереи» имеются на мысе Бурхан, у входа в Сарминское ущелье и в бухте Ая. Еще одним уникальным объектом – памятником инженерного искусства – является Кругобайкальская железная дорога, которая была построена в 1902-1905 гг. Еще в начале XX в. этот участок железнодорожного пути называли «золотой пряжкой стального пояса России» [4]. Пряжкой ее называли, потому что она соединяла разорванную Байкалом Транссибирскую магистраль, а золотой – потому что по стоимости работ она превзошла все существующие до этого в России дороги [2].

Тункинский НП является крупнейшим по площади парком Сибири. Тункинская земля богата памятниками истории, относящимися к эпохе неолита. Через эту территорию когда-то проходили шелковые, чайные, золотые и множество других путей. В годы Великой Отечественной войны здесь

проходили скотопрогонные дороги из Монголии. В настоящее время в парке созданы туристские маршруты по этим древним тропам, которые открывают туристам интересные страницы истории и культуры. Местное население – буряты, хранят свои обычаи и традиции, основанные на сочетании двух религий – шаманизма и буддизма. На территории парка расположено множество культовых объектов – мест паломничества не только верующих, но и туристов [4].

Достаточно много памятников культуры и истории в НП Шушенский бор. Наибольший интерес здесь представляет культурно-историческое наследие территории: остатки Саянского острога, который был построен казаками в 1718 г., для того, чтобы закрепить за русскими территорию Присяянья; старинное поселение предгорий Саян – село Шушенское, участок с археологическими памятниками освоения человеком долин Енисея в бронзовом и железных веках – Мачеркина горка. Здесь находились поселения человека афанасьевой, татарской, таштыкской эпох, также сохранились остатки оборонительного сооружения государства «кыргызов» – крепость «Омайтура». Шушенское – это место политической ссылки декабристов, революционно-демократического движения в России, народовольцев. Здесь же в период ссылки жил и работал В.И. Ленин. В 1970 г. был открыт музей «Сибирская ссылка В.И. Ленина», благодаря которому Шушенское получило известность не только в нашей стране, но и за ее пределами. Только за последние 5 лет его посетило более миллиона человек [6].

НП Алханай отличается от других парков Сибири тем, что на его территории расположен комплекс святынь северного буддизма. С древнейших времен, еще до того, как на территорию Забайкалья проник буддизм, горный массив Алханай считался у коренных жителей местом обитания духов – скал, водопадов, гор, рек. Это место считалось священным, обладающим необычными свойствами исцеления людей от различных недугов. В настоящее время Алханай – религиозный центр буддистов. В парке много достопримечательностей, это и скалы и пещеры в скалах, аршаны (целебные источники), дацаны (буддийские храмы), ступы и стелы, обоо (места поклонения духам), и др. [4].

Забайкальский НП является визитной карточкой Байкала. Парк обладает не только уникальными природными объектами (Чивыркуйский залив, п-ов Святой Нос, Ушканьи о-ва и пр.), но и культурно-историческими. Это, прежде всего, – Баргузинская долина, где еще в XIX в. вдоль р. Баргузин была проложена дорога. Одна из главных достопримечательностей этой долины – бывший уездный купеческий город Баргузин (ныне село). Это был первый острог, построенный в Забайкалье в 1648 г. Святыня Баргузинской долины – камень Бухэ-Шулун (Бык-камень), который является хозяином всей долины [1].

Шорский НП расположен на территории Горной Шории, которую называют Сибирской Швейцарией из-за необыкновенной красоты. Свое название она получила от тюркоязычного народа – шорцев, которые до XVIII в. были известны своим умением плавить железную руду и кузнечным ремеслом. В пределах парка находится музей под открытым небом «Тазгол», который описывает жизнь и быт коренного населения Кузбасса (шорцев) с VI в. до начала XX в. Тазгол – это первый в Кузбассе опыт созда-

ния этнографического музея под открытым небом в естественной среде. Здесь можно узнать, как шорцы раньше добывали орехи, увидеть поселение древних металлургов-кузнецов, а также захоронение кыргызского воина [5].

Относительно недавно созданными (2010-2014 гг.) в Сибири парками являются НП Сойлюгемский (республика Алтай) и НП Чикой (Забайкальский край). Их территории в большей мере располагают природными богатствами. Однако следует отметить, что культурно-исторический потенциал их территории не менее значителен, чем в других НП Сибири. Это и самобытная культура старообрядцев, и уникальные археологические объекты, и древнейшие петроглифические комплексы и многое др.

Таким образом, культурно-историческое наследие НП Сибири также значимо, как и природное. В настоящее время сибирские парки стали всё больше ассоциироваться с национальным наследием, национальной гордостью и достоянием. Так, некоторые парки (в районе озера Байкал) во второй половине 90-х гг. были включены в Список Всемирного культурного наследия ЮНЕСКО.

Список литературы

1. Восточное побережье Байкала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nabaikal.info/index.php?option=com_content&view=section&i=39&Itemid=40
2. Кругобайкальская железная дорога [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.krugobaikalka.ru/info.php>
3. Кулешова М.Е. Управление культурными ландшафтами и иными объектами историко-культурного наследия в национальных парках [Текст] / М.Е.Кулешова. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2002. – 106 с.
4. Кусый И.А. Национальные парки России. Урал и Сибирь [Текст] / И.А. Кусый. – М.: Изд-во «Вокруг Света», 2007. – 205 с.
5. Музей Тазгол [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.shor-pr.kemv.ru/page82.html>
6. Шушенский бор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oopt.info/shush/recreation.html>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАКТОРОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ДЕФОРМАЦИИ РУСЕЛ

Семягин И.Н.

студент КФУ, Институт управления, экономики и финансов,
Россия, г. Казань

Курбанова С.Г.

доцент кафедры географии и картографии КФУ, Институт управления,
экономики и финансов, канд. географ. наук, доцент,
Россия, г. Казань

Малые реки имеют огромное значение, так как в их бассейнах проживает значительная часть населения. Вода рек интенсивно используется не только на бытовые нужды, но и для жилищно-коммунального, сельскохозяйственного, промышленного обеспечения.

Поэтому актуальность изучения строения малых рек через дистанционные методы (программы SAS.Планета, MapInfo, Google Планета Земля и др.) не вызывает сомнений.

Ключевые слова: деформация, меандрирование, фуркация, русла, дешифрирование, классификации, старицы.

Первая морфодинамическая классификация речных русел принадлежит К.И. Россинскому и И.А. Кузьмину, [1947] выделившим прямолинейные (соответствующий тип деформации – периодическое расширение), извилистые (развитие излучин, меандрирование) и разбросанные (блуждание) русла. Несколько позднее появляется классификация Н.И. Маккавеева, [1955] который выделял меандрирующие и немеандрирующие русла, а среди последних – прямолинейные и разветвленные на рукава, т.е. извилистость русла принималась им в качестве ведущего классификационного признака. Многие зарубежные морфодинамические классификации опираются в основном на принципы, которые были заложены еще К.И. Россинским и И.А. Кузьминым [1947,1958]. К ним относятся классификации Leopold, Wolman, [1957]; Richards, [1980]; Schumm [1977], но дополняются новыми признаками, к примеру, учёные уделяют большое внимание математическим моделям формирования рек. Этим занимались Parker [1979], Engelund [1973], Fredsoe [1978] и др. Такие исследователи как Begin [1981], Chang [1985], Ackers [1970] в своих работах отмечали гидролого-морфометрические связи для отдельных типов русел и их разновидностей. Hartvich [2005] связывал деформацию русел рек с тектоникой, а Kondolf [2006] отмечал влияние антропогенных факторов на русла малых рек [Семягин..., 2015].

В данной работе, использована классификация Р.С. Чалова по руслам рек [2004], так как она является универсальной в отличие от многочисленных зарубежных, в основе которых лежат различные признаки описанные выше и более приемлема для изучения малых рек. На основе данной классификации нами была сделана попытка изучить через дистанционные методы трансформацию русла реки Ик, расположенной в Восточном Закамье Республики Татарстан. Территория представляет наиболее возвышенную, сильно расчлененную часть республики, которая относится к предгорьям Урала. В целом территория Восточного Закамья характеризуется умеренно континентальным климатом с холодными зимами и значительным выпадением осадков, что объясняется возвышенным рельефом.

Изучение трансформации реки проводилось в пределах Республики Татарстан, где сосредоточено около 73 % длины реки Ик, протекающей также в Башкортостане и Оренбургской области. Длина реки 436 км, в пределах Республики Татарстан – 316,7 км. Река Ик обладает разветвленной речной системой, принимая в себя 91 притоков, 38 из которых располагаются в Татарстане. Ширина реки в нижнем течении достигает 80 м, глубина небольшая 0,5-3,0 м. Средний многолетний слой годового стока реки составляет 97-140 мм, слой стока половодья – 50-70 мм, расход межени в устье – 25 м³/с, т.е. река многоводна [Никаноров..., 2010].

В ходе работы изучался с помощью дешифрирования космических снимков отрезок реки от верховья (с.Абдрахманово) до устья, общей протяженностью 362 км 954 м. В пределах рассмотренного участка, используя классификацию Чалова [2008], было выделено 3 типа русла – прямолинейный, меандрирующий, фуркирующий (рисунок).



Меандрирующий тип русла —
 Прямолинейный тип русла —
 Фуркирующий тип русла
 (разветвленный на рукава) —

Рис.

В результате дешифрирования космоснимков с помощью программы SAS. Планета и измерения морфометрических показателей русла, мы выяснили (табл.), что меандрирующий тип составляет 178,02 км от общей протяженности реки, на прямолинейный тип приходится 160,67 км всей длины водотока, фуркирующий тип (разветвленный на рукава) обладает наименьшей протяженностью – 24,3 км.

Таблица

Длины участков различных типов русел р.Ик

Параметры (км)	Прямолинейный тип	Меандрирующий тип	Фуркирующий тип
Общая протяженность	160,671	178,017	24,27
Максимальная длина	8,074	2,04	4,732
Минимальная длина	0,058	0,082	0,117
Среднее значение	0,813	0,536	0,56

Мы определили, что самым распространенным является меандрирующий тип – 49 % от длины всей реки. Самая крупная меандра, расположенная близ с. Московка имеет длину – 2,04 км, минимальная длина наблюдается у д. Шалты – 0,082 км, а среднее значение по всей реке составляет 0,536 км.

На прямолинейный тип приходится 44,3 % длины водотока. Максимальная длина относительно прямолинейного типа русла наблюдается на отрезке реки от с. Ст. Матвеевка до с. Ст. Александровка и составляет 8,074 км. Минимальная длина, равная 0,058 км, наблюдается близ с. Вятский. Средняя величина по реке составляет 0,813 км.

Фуркирующий тип (разветвленный на рукава), по сравнению с прямолинейным и меандрирующим типами, обладает самой меньшей протяженностью, она составляет 6,7 % от общей длины водотока. Максимальное значение

ние отмечено у с. Якшаево – 4,733 км. Минимальная длина для данного типа русла составила 0,117 км у с. Чекан-Тамак, среднее значение – 0,56 км.

В результате нашей работы были выделены 3 участка – верхнее, среднее и нижнее течение. Была отмечена тенденция увеличения количества меандрирующих типов русел от верховья к нижнему течению приблизительно на 3 %, примерно равное количество прямолинейных типов на всех трех участках, тогда как число фуркирующих типов уменьшается к третьему отрезку примерно в 2 раза. Такая динамика обусловлена приносом взвешенных и влекомых веществ с оврагов, балок, увеличением освоенности территории, с уменьшением залесенных территорий. Так, на меандрирующих участках русла наблюдается большее число оврагов и балок, чем на прямолинейных, что приводит к увеличению ширины поймы почти в 3 раза.

Таким образом, дешифрирование космических снимков возможно использовать при планировании и использовании долин рек, самого русла реки в хозяйственной деятельности человека.

Список литературы

1. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в её бассейне. М.: АН СССР. 1955
2. Никаноров А.М., Захаров С.Д., Брызгалов В.А., Жданова Г.Н. Реки России. Часть III. Реки Республики Татарстан (гидрохимия и гидроэкология). – Казань: Изд-во ИПК «Бриг». – 2010. – 224 с.
3. Россинский К.И., Кузьмин И.А. Некоторые вопросы прикладной теории формирования речных русел / Проблемы регулирования речного стока. вып. 1, М.; Л., Изд. АН СССР, 1947, с. 88-130
4. Россинский К.И., Кузьмин И.А. Закономерности формирования речных русел / Русловые процессы, М., Изд. АН СССР, 1958, с. 5-14.
5. Семягин И.Н., Курбанова С.Г. Изменение продольного профиля малых водотоков бассейна реки Улема // Сборник трудов VI Международного конгресса "Чистая вода. Казань" 25-27.03.2015 г. – Казань, 2015. – Вып. 6. – С. 166 – 169.
6. Чалов Р.С., А.С.Завадский, А.В. Панин. Речные излучины. Москва. 2004. – 371 с.
7. Ackers P., Charlton F.G. Meander geometry arising from varying flows. // J. Hidrology. 1970. V. 11. № 3 P. 230-250.
8. Begin Z.B. The relationship between flow-shear stress and stream patterns // J. Hydrol. 1981. №3-4. P. 307-319.
9. Chang H. River technology and threshold // J. of Hydraul. Eng., 1985, № 3, P. 503-519.
10. Engelund F., Skovgaard O. On the origin of meandering and braiding in alluvial streams // J. Fluid. Mech. V.57.1973. №2.
11. Fredsoe I. Meandering and braiding of rivers // J. Fluid. Mech. V.84. 1978. №4.
12. Hartvich F. Analysis of the longitudinal profiles of selected rivers in the Šumava Mts., Southwest Bohemia.// Miscellanea geographica. KGE, ZCU v Plzni, 2005.
13. Kondolf G. Mathias. Profile Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining. Environmental Management Vol. 21, No. 4. 1997. pp. 533–551.
14. Kondolf G. Mathias. River Restoration and Meanders.// Ecology and society. 2006. 11(2): 42
15. Leopold L.B., Wolman M.C. River-channel patterns: braided, meandering and straight // U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 1957. №282-B. P 1-85.
16. Parker G. Hydraulic geometry of active gravel rivers // J. Fluid Mech., 1979. 1979. №9.
17. Richards K.S. The formation of ripples and dunes on an erodible bed // J. Fluid Mech. 1980. V. 99. № 3. P 597-618
18. Schumm S.A. The fluvial sistem. 1977. 338 p.
19. Rosgen David L. A classification of natural rivers. // Catena 22. 1994. P 169-199.

СЕКЦИЯ «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»

ПАСТЫ КОНДИТЕРСКИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА

Алексеева Т.В.

доцент кафедры сервиса и ресторанного бизнеса,
Воронежский государственный университет инженерных технологий,
к. тех. наук, доцент,
Россия, г. Воронеж

Науменко В.Б.

студент кафедры сервиса и ресторанного бизнеса,
Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Россия, г. Воронеж

Зяблов М.М.

студент кафедры машины и аппараты пищевых производств,
Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Россия, г. Воронеж

Веснина А.А.

студентка кафедры сервиса и ресторанного бизнеса,
Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Россия, г. Воронеж

В статье рассматриваются технология и рецептуры приготовления паст кондитерских с применением растительных жмыхов. Проведены исследования показателей пищевой и биологической ценности.

Ключевые слова: функциональные продукты, жмых зародышей пшеницы, пасты кондитерские.

В последние годы у отдельных групп населения России имеются нарушения в питании, связанные, в том числе, с содержанием и соотношением основных питательных веществ и биологически активных компонентов: витаминов, микроэлементов и т.д. Поэтому разработка качественно новых продуктов питания является приоритетом современного этапа развития пищевой промышленности, дополнительно обогащенных физиологически функциональными ингредиентами, максимально соответствующих потребностям организма человека [1].

В жмыхе зародышей пшеницы присутствуют биологические вещества, необходимые для полноценного питания: витамины Е, D, В₁, В₂, В₆, РР, пантотеновая и фолиевая кислоты, каротиноиды; около 20 макро- и микроэлементов, и в том числе: кальций, калий, фосфор, магний, железо, селен и цинк [3]. Ценный химический состав данного растительного продукта делает пер-

спективным его введение в рецептуры в качестве эффективной пищевой обогащающей добавки [2].

Кондитерские пасты готовятся путем измельчения жмыха зародышей пшеницы до размера частиц 0,5-0,7 мм, гидратации муки зародышей пшеницы водой питьевой, в соотношении 1,0:1,7 в течение 15-45 мин в 2 этапа, на первом этапе при интенсивном перемешивании, на втором термостатировании в состоянии покоя до достижения консистенции, близкой к структуре пасты. Далее в полученную пищевую систему вносятся компоненты согласно рецептурам. Разработано более 10 рецептур кондитерских паст, в которые наряду с гидратированным жмыхом зародышей пшеницы вносились измельченные грецкие орехи, арахис, изюм, творог и другие ингредиенты.

Полученные пасты обладали высокими органолептическими показателями в пределах 4,5-5 баллов. Результаты исследований состава новых продуктов показали их высокую пищевую и биологическую ценность. Биологическая ценность новых изделий составила 55,0-87,0 %, коэффициент утилитарности – 0,57-0,62, коэффициент избыточности – 3,3-3,4. Инновационные изделия характеризовались снижением коэффициентов избыточности, коэффициентов различий аминокислотного скора и повышением коэффициентов утилитарности, что говорит об увеличении ценности белка и сбалансированности незаменимых аминокислот [4].

Таким образом, в результате применения продуктов глубокой переработки зернового низкомасличного сырья были получены инновационные продукты с высокими органолептическими показателями, обладающие высокими показателями пищевой и биологической ценности, сбалансированным аминокислотным составом и хорошей усвояемостью, при этом они обогащены широким спектром витаминов, эссенциальных и минеральных веществ, при этом усиливается лечебно-профилактическая направленность готовой продукции.

Список литературы

1. Алексеева, Т. В. Управление качеством пищевых систем на основе жмыха зародышей пшеницы [Текст] / Т. В. Алексеева, А. А. Родионов // Экономика. Инновации. Управление качеством. – 2013. – № 5. – С. 30-33.
2. Алексеева Т.В. Development of formulations enriched flour food products using the products of deep processing of grain [Текст] / Т.В. Алексеева, Ю.О. Калгина, А.А. Веснина // Journal of EcoAgriTourism – 2014. – № 2. – vol. 9. – P. 197-199.
3. Родионова Н.С. Современная теория и технология получения, обработки и применения продуктов комплексной переработки зародышей пшеницы / Н. С. Родионова, Т.В. Алексеева // Вестник ВГУИТ. – 2014. – № 4. – С. 99-109.
4. Родионова, Н. С. Формирование функциональной направленности рационов для организованного питания [Текст] / Н. С. Родионова, Т. В. Алексеева, М. И Корыстин, А. Г. Саблин, М. М. Зяблов // Сервис в России и за рубежом. – 2013. – № 5. – С. 38-47.

РАЗРАБОТКА АССОРТИМЕНТА МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ФРАКЦИЯМИ НИЗКОМАСЛИЧНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Алексеева Т.В.

доцент кафедры сервиса и ресторанного бизнеса,
Воронежский государственный университет инженерных технологий,
к. тех. наук, доцент,
Россия, г. Воронеж

Родионов А.А.

аспирант кафедры сервиса и ресторанного бизнеса,
Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Россия, г. Воронеж

Калгина Ю.О., Ларина Т.П.

студентки кафедры сервиса и ресторанного бизнеса,
Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Россия, г. Воронеж

В статье рассматриваются разработка технологии и проектирование ассортимента рецептур функциональных продуктов питания на основе мясного и растительного сырья с применением вторичных продуктов переработки зерна. Проведен расчет пищевой и биологической ценности инновационных изделий.

Ключевые слова: функциональные продукты, жмых зародышей пшеницы, мясорастительные продукты.

На сегодняшний день функциональные продукты питания являются самым быстрорастущим сегментом мировой пищевой отрасли. Российский рынок здоровых продуктов так же динамично развивается. Большим спросом у потребителей пользуются изделия из мясного и растительного сырья.

Отечественное производство продукции функционального назначения развивается в настоящий момент в направлении обогащения традиционных продуктов питания витаминами, минеральными веществами, пищевыми волокнами на фоне общей тенденции к уменьшению их калорийности. В основе технологий функциональных продуктов питания лежит изменение традиционных рецептур, обеспечивающее повышение содержания полезных ингредиентов до уровня, соотносимого с физиологическими нормами их потребления (10-15 % от средней суточной потребности) [2].

Перспективным объектом для формирования ассортимента продуктов функциональной направленности является группа мясорастительных продуктов, так как они являются одним из ежедневных компонентов пищевого рациона в силу сложившихся традиций в структуре питания населения России [1].

Целью данной работы являлась разработка рецептур изделий на основе мясного и растительного сырья функциональной направленности с применением жмыха зародышей пшеницы (ЖЗП).

В результате экспериментальных исследований разработан ассортимент пищевых продуктов на основе мясного, рыбного сырья и субпродуктов с включением жмыха зародышей пшеницы в количестве 15-30 % к общей массе готовых изделий (котлеты куриные, рыбные и свино-говяжьи; суфле из свинной, куриной и говяжьей печени; голубцы; долма и др.).

ЖЗП в пищевые системы из мясного, рыбного сырья и субпродуктов вносился в гидратированном виде. Гидратацию жмыха проводили водой питьевой в соотношении РКПС/вода, как 1:1,7-1,8 и выдерживали 10-15 мин при температуре 20 ± 5 °С, смесь перемешивали до однородного состояния пасты, близкой по консистенции к фаршевым системам, в которые она вводилась.

Анализ витаминно-минерального состава разработанных продуктов на основе мясного, рыбного сырья и субпродуктов показал, что содержание калия и витамина В₁ (в изделиях из субпродуктов), витамина А, кальция, калия (в продуктах из мясного и рыбного сырья) находилось на уровне 15 % и более суточной потребности организма, что соответствует общим принципам обогащения продуктов питания. Массовая доля железа, натрия, калия, фосфора и витаминов В₂, В₃, В₆, РР, К (в мясных и рыбных продуктах), фосфора, цинка, витаминов В₁, В₆, К (в изделиях из субпродуктов) находилась в пределах 20-50 %, что подтверждает их высокую пищевую ценность и позволяет оценить их как функциональные, также в их состав входил редкий витамин Т. Витамины Е, D, В₉, марганец во всех продуктах и железо, натрий, витамины А, В₂, В₃ в изделиях из субпродуктов находились в количестве более 50 % суточной потребности, что позволяет заключить, что разработанные изделия можно отнести к витаминизированным продуктам [3].

Биологическая ценность новых продуктов находилась на уровне 82-88 %, органолептические показатели были традиционными, при этом происходило увеличение сбалансированности по аминокислот белков по сравнению с контрольными изделиями, обогащение витаминами, микроэлементами и эссенциальными веществами.

Список литературы

1. Алексеева Т. В. Управление качеством пищевых систем на основе жмыха зародышей пшеницы [Текст] / Т. В. Алексеева, А. А. Родионов // Экономика. Инновации. Управление качеством. – 2013. – № 5. – С. 30-33.
2. Родионова Н.С. Разработка растительной комплексной пищевой системы на основе продуктов переработки зародышей пшеницы сбалансированного жирнокислотного состава / Н.С. Родионова, Т. В. Алексеева, Н.Н. Попова, Е.С. Попов, Ю.О. Калгина // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11. – Ч. 8. – С. 1594-1597.
3. Свидетельство о государственной регистрации № 77.99.23.3.У.6335.7.06. Мука зародышей пшеницы пищевого назначения «ВИТАЗАР» – сырье. Дата введения 10.07.2006; Ветеринарное удостоверение 231 № 0008226. Кормовая добавка Мука зародышей пшеницы пищевого назначения «ВИТАЗАР» – сырье. Дата введения 30.11.2012.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

Балгабеков Т.К.

заведующий кафедры «Промышленный транспорт»,
Карагандинский государственный технический университет,
канд. техн. наук, доцент,
Казахстан, г. Караганда

Максумова Ж.К.

Карагандинский государственный технический университет,
Магистрант кафедры «Промышленный транспорт»,
Казахстан, г. Караганда

В статье рассматриваются актуальные вопросы по организации международных перевозок грузов. В связи с этим проведен анализ объема перевозок основных грузов по направлениям следования. Определены проблемы и перспективы развития мультимодальной перевозки. Приведены формулы по определению такого показателя как: время движения транспортных средств на перевозку грузов. Различая несколько вариантов маршрута доставки грузов, был выбран наиболее подходящий, и имея основные показатели результатов времени мультимодальной перевозки, были произведены расчеты.

Ключевые слова: транспортная логистика, мультимодальная перевозка, грузопотоки, прямая и смешанная перевозка, линейное программирование, оптимальный маршрут.

С давних времён считалось, что использование транспортной логистики – является залогом повышения эффективности отечественного транспортного комплекса и активизации его интеграции в мировую транспортную систему. Сегодня как никогда стали актуальны задачи увеличения объемов перевозок, повышение экономической эффективности деятельности многочисленных отечественных грузовых экспедиторов. Ведь по своей сути транспортная логистика, как новая методология оптимизации и организации рациональных грузопотоков, а также позволяет обеспечивать повышение эффективности таких потоков, снижение непроизводительных издержек и затрат, а транспортникам – быть современными, максимально соответствовать запросам все более требовательных клиентов и рынка [1, 6].

Быстрое развитие экономики Казахстана, способствует росту производства и потребления чёрных металлов. Ведущим предприятием чёрной металлургии Казахстана является металлургический комбинат АО «Арселор Миттал Темиртау». Основную часть своей продукции комбинат экспортирует, в СНГ, страны Европы, государства Центральной и Юго-Западной Азии. Однако при поставке продукции в страны Центральной Азии увеличиваются транспортные издержки. Не смотря на это Карагандинский металлургический комбинат АО «Арселор Миттал Темиртау» в 2016 году планирует уве-

личить экспорт металлопродукции в страны Центральной Азии, в том числе в Иран, на 33% по сравнению с прошлым годом – до 3 млн тонн [4, 5].



Рис. 1. Суммарный экспорт металлургической продукции в 2009-2014 годы

Для реализации политики принимается обязательство повышение результативности транспортировки металлов.

Существуют два основных подхода к организации транспортного процесса:

- 1) традиционный;
- 2) логистический с участием оператора мультимодальной перевозки.

Таблица

Основные подходы в организации транспортного процесса

Традиционный подход (прямая и смешанная перевозка)	Логистический подход (мультимодальная перевозка)
Два и более вида транспорта	Два и более вида транспорта
Отсутствие единого оператора перевозки	Наличие единого оператора перевозки
Отсутствие сквозной ставки на перевозку	Единая сквозная ставка на транспортировку
Последовательная схема взаимодействия участников	Последовательная-центральная схема взаимодействия участников

При доставке грузов способом мультимодальной перевозки самым важным фактором является выбор оптимального маршрута транспортировки.

Основной метод логистики при определении оптимального маршрута движения груза заключается в анализе сокращение полной стоимости, а также:

- время транспортировки;
- вероятность непредвиденных расходов, задержек в пути [2, 3].

Для выбора оптимального маршрута транспортировки мы применили метод математической модели линейного программирования.

Линейное программирование (ЛП) – наука о методах исследования и нахождения экстремальных (наибольших и наименьших) значений линейной функции, на неизвестные на которой наложены линейные ограничения.

Математическое выражение целевой функции и ее ограничений называется *математической моделью транспортной задачи*.

В общем виде математическая модель задачи ЛП записывается как:

$$Z(T^n) = T_T + T_M + T_a \rightarrow \max(\min) \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\begin{cases} T_0 + T_{жс} + T_a = Z(T^1) \\ T_0 + T_{жс} + T_a = Z(T^2) \\ T_{жс} + T_M + T_a = Z(T^3) \end{cases} \quad (2)$$

где T_0 – начальная время движения транспортного средства, сут., (в нашем случае принимается как $T_0=0$);

$T_{жс}$ – время движения железнодорожного транспорта, сут.;

T_M – время движения морского транспорта, сут.;

T_a – время движения автомобильного транспорта, сут.;

T^1 – общее время доставки груза по 1-му маршруту, сут.;

T^2 – общее время доставки груза по 2-му маршруту, сут.;

T^3 – общее время доставки груза по 3-му маршруту, сут.;

Математическая модель в более краткой записи имеет вид:

$$Z(T^n) = \sum T \rightarrow \max(\min)$$

Допустимое решение, при котором целевая функция достигает своего экстремального значения, называется оптимальным решением задачи линейного программирования и обозначается T^n .

Применение этого метода означает учет всех затрат в логистической системе и такую их перегруппировку, которая позволит уменьшить и сократить сроки доставки грузов. На основании предварительной оценки возможных решений определяются два-три конкурентоспособных варианта. По каждому из них собираются исходные данные, а затем на основе выполненных расчетов рекомендуется оптимальный вариант [7].

Время движения зависит от многих факторов в том числе от сроков доставки продукции различными видами транспорта:

– автомобильный транспорт

$$T_a = t_{нк} + L/V_{эк}, \quad (3)$$

где T_a – автомобильный транспорт

$t_{нк}$ – время на начально-конечные операции, сут.;

L – расстояние перевозки, км;

$V_{эк}$ – эксплуатационная скорость, км/ч;

- железнодорожный транспорт

$$T_{ж} = t_{нк} + L/V_n + t_{доп}, \quad (4)$$

где $T_{ж}$ – железнодорожный транспорт;

V_n – норма пробега в сутки;

$t_{доп}$ – время на дополнительные операции на транспорте, сут.;

- морской транспорт:

$$T_M = \frac{L}{V_{\text{КОМ}}}, \quad (5)$$

где T_M – морской транспорт;
 $V_{\text{КОМ}}$ – коммерческая скорость, миль/сут.;

$$V_{\text{КОМ}} = L / \left(\frac{L}{V_{\text{СУТ}}} + \frac{2 \varepsilon D_t}{M} + t_{\text{ДОП}} \right), \quad (6)$$

$V_{\text{СУТ}}$ – эксплуатационная скорость, миль/сут.;

ε – коэффициент использования грузоподъемности ;

D_t – грузоподъемность груза, т;

M – средневзвешенная суточная норма грузовых работ в порту, т/сут.

Рассмотрим определение времени на перевозку металлов в количестве 60 т из АО «АрселорМиттал Темиртау» (поставщик, Республика Казахстан) в Иран (покупатель) при условии, что основную перевозку организует поставщик. В соответствии с этими условиями грузоотправитель должен организовать основную перевозку груза, перевалку в порту или на железнодорожной станции, транспортировку от порта до места назначения. Как экспедиторы, мы решили представить 3 возможных маршрута доставки предполагаемого груза.

Определение времени доставки груза по 1 маршруту:

$$T_{\text{ж1}} = 1 + \frac{2866}{200} + 4 = 19,33 \text{ сут.}$$

$$T_{\text{а1}} = 2 + \frac{410}{60} = 8,83 \text{ сут.}$$

где $T_{\text{ж1}}$ – время маршрута железнодорожного транспорта от ст. Жанаауыл – ст. Сары-Агач (Казахстан) – ст. Келес – ст. Ходжадавлет (Узбекистан) – ст. Фарап – ст. Этрек (Туркменистан) – ст. Горган (Иран);

$T_{\text{а1}}$ – время маршрута автомобильного транспорта ст. Горган – Тегеран (Иран).



Рис. 2. Первый маршрут доставки груза

Определение времени доставки груза по 2 маршруту:

$$T_{ж2} = 2 + \frac{3798}{200} + 3,5 = 25 \text{ сут.}$$

$$T_{a2} = 2 + \frac{410}{60} = 8,83 \text{ сут.}$$

где $T_{ж2}$ – время маршрута железнодорожного транспорта ст. Жанаауыл – ст. Жезказган – ст. Бейнеу – ст. Мангышлак – ст. Узень (Казахстан) – ст. Берекет – ст. Этрек (Туркменистан) – ст. Горган (Иран);

T_{a2} – время маршрута автомобильного транспорта ст. Горган – Тегеран (Иран).

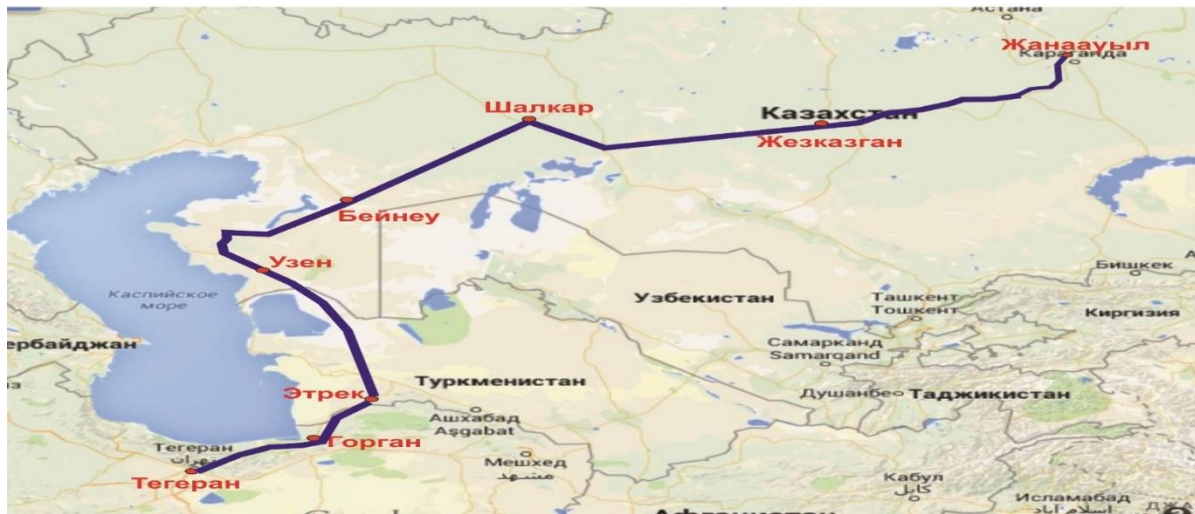


Рис. 3. Второй маршрут доставки груза

Определение времени доставки груза по 3 маршруту:

$$T_{ж3} = 1 + \frac{2201}{200} + 1 = 13,005 \text{ сут.}$$

$$V_{ком} = 901 / \left(\frac{901}{288,8} + 2 * 0,59 * \frac{3920}{1720} + 3 \right) = 102,5 \text{ миль/сут.}$$

$$T_{м3} = \frac{901}{102,5} = 8,79 \text{ сут.}$$

$$T_{a3} = 1 + \frac{282}{60} = 5,7 \text{ сут.}$$

где $T_{ж2}$ – время маршрута железнодорожного транспорта ст. Жанаауыл – ст. Жезказган – ст. Бейнеу – порт Актау;

$T_{м3}$ – время маршрута морского транспорта порт Актау – порт Бандер-Энзели;

T_{a3} – время маршрута автомобильного транспорта порт Бандер-Энзели (Иран) – Тегеран.

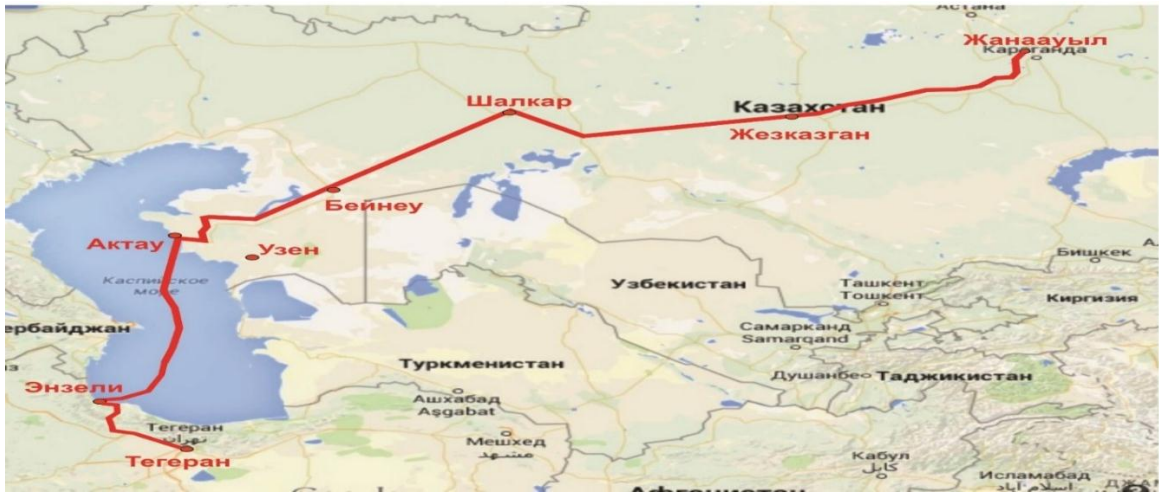


Рис. 4. Третий маршрут доставки груза

Итак, создавая математическую модель ЛП мы можем провести сравнительную оценку сроков доставки грузов способом мультимодальных перевозок в 3-х вариантах маршрута.

Далее представлены результативные показатели формул математической модели:

$$\begin{cases} 0 + 19,33 + 8,83 = 28,16 \\ 0 + 25 + 8,83 = 33,83 \rightarrow \max \\ 13,005 + 8,79 + 5,7 = 27,49 \rightarrow \min \end{cases}$$

Срок доставки груза по 1-ому маршруту:

$$Z(T^1) = 28,16 \text{ сут.}$$

Срок доставки груза по 2-ому маршруту:

$$Z(T^1) = 33,83 \text{ сут.} \rightarrow \max$$

Срок доставки груза по 3-ому маршруту:

$$Z(T^3) = 27,49 \text{ сут.} \rightarrow \min$$

При мультимодальной перевозке металлопродукции из Казахстана в Иран, сравнительный анализ метода линейного программирования обеспечивает возможность выбора оптимального вида маршрута. Результатом выполнения условия экстремального (максимум и минимум) значений математической модели данного метода, является определение времени на доставку грузов в 3-х направлениях. Наименьшим ($T^3 = 27,49$ сут. $\rightarrow \min$) показателем затраченного времени на доставку грузов, обладает третий маршрут.

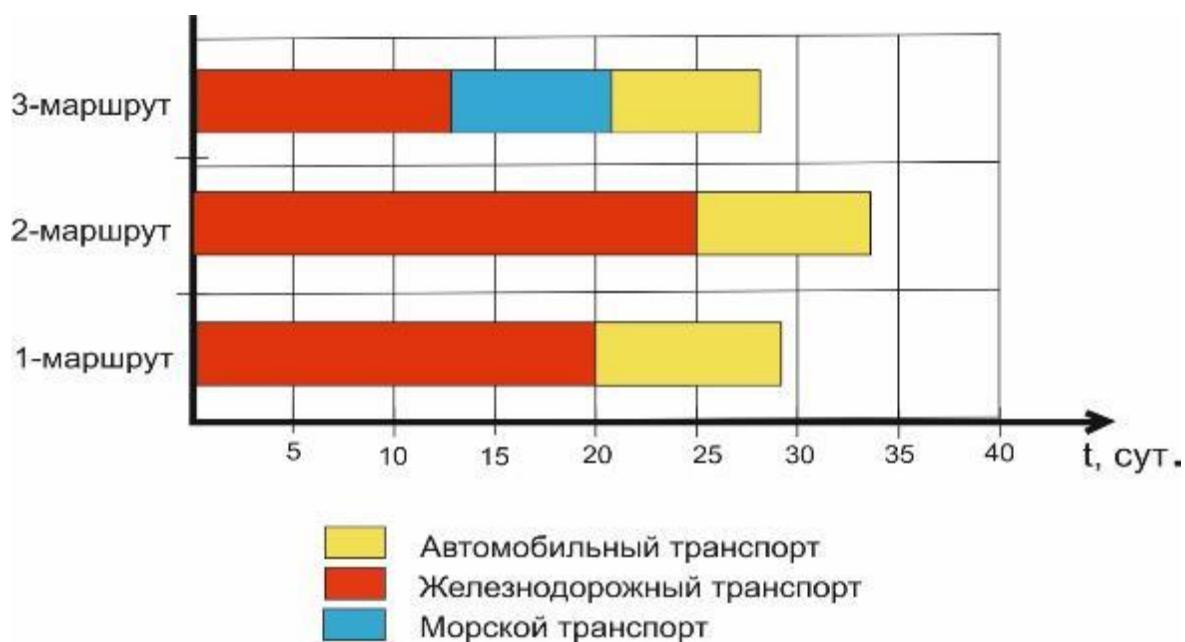


Рис. 5. Показатели времени на доставку грузов по трем маршрутам

Исходя из всего выше сказанного, а также учитывая требования методики мультимодальной перевозки, на примере транспортировки продукции для АО «АрселорМиттал Темиртау» самым оптимальным вариантом является маршрут: ст. Жанаауыл – ст. Жезказган – ст. Бейнеу – порт Актау – п. Бандер-Энзели (Иран) – Тегеран.

Список литературы

1. Балгабеков Т.К., Касымжанова А.Д., Жумадилла Б.К. Теміржол көлігінде жолаушы тасымалының инновациялық дамуы. Труды Международной научно-практической конференции «Наука, образование и производство – ведущие факторы стратегии «Казахстан – 2050». (Сагиновские чтения № 6), 26-27 июня 2014г., часть 3. С. 204-206.
2. В.С. Никифоров. Мультимодальные перевозки и транспортная логистика. Учебное пособие. М.: ТрансЛит 2007, 272 с.
3. Комаров А.В. Исследование взаимодействия железнодорожного, водного и автомобильного транспорта в смешанных перевозках/ Автореферат Докторской диссертации на соискание степени доктора технических наук.: М. 1956. 26 с.
4. Кокрекбаев М.К., Балгабеков Т.К., МаксUTOва Ж.К. Проблемы развития транспортно-логистической системы железнодорожного транспорта Республики Казахстан. Труды Международной научно-практической конференции «Наука, образование и производство – ведущие факторы стратегии «Казахстан – 2050». (Сагиновские чтения № 6), 26-27 июня 2014г., часть 3. С. 242-244.
5. Маткеримов Т.Ы., Интыков Т.С., Балгабеков Т.К. Проблемы развития транспортно-логистической системы автомобильного транспорта Республики Казахстан. Труды Международной научно-практической конференции «Наука, образование и производство – ведущие факторы стратегии «Казахстан – 2050». (Сагиновские чтения № 6), 26-27 июня 2014г., часть 3. С. 259-261.
6. Резер С.М. Комплексное управление перевозочным процессом в транспортных узлах/М.: "Транспорт", 1982. 160 с.
7. Яретенко Н.И. Математика (Исследование операций)/курс лекций.: 2010, 23 с.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ БЕТОННЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ЗАДЕЛОК НА РЕЖИМ РАБОТЫ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ

Бастрыгина С.В.

старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН,
канд. техн. наук,
Россия, г. Апатиты

Конохов Р.В.

инженер, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН,
Россия, г. Апатиты

Установлено влияние различных видов бетонных заделок на режим работы силового кабеля и показано, что для обеспечения температуры на токоведущей жиле кабеля, не превышающей регламентируемый показатель (65°C), плотность вермикулитобетона должна быть не менее 725 кг/м^3 . При использовании шунгизитобетона с минимальной плотностью 710 кг/м^3 температура на жиле кабеля составляет 57°C .

Ключевые слова: вермикулитобетон, шунгизитобетон, огнезащитная кабельная заделка, силовой кабель.

Одной из причин пожаров является возгорание электрических кабелей, по которым пламя может достаточно быстро распространиться из одного помещения в другие. Так, в США ежегодный ущерб от пожаров, вызванных лишь возгоранием кабелей, составляет около 6 млрд. долларов. Россия по количеству пожаров (около 300 тысяч пожаров в год), числу погибших в них на 100 тысяч жителей и по количеству погибших на 1000 пожаров занимает первое место в мире, превосходя по этим показателям ФРГ в 22 раза, США – в 33 раза, Англию – в 38 раз. По данным ВНИИ противопожарной обороны МВД Российской Федерации каждый четвертый пожар возникает вследствие неисправностей в электроустановках, в том числе во многих случаях из-за возгорания кабелей.

Для предотвращения распространения пламени по кабельным коммуникациям применяются различные элементы системы защиты кабелей в местах их прохода через строительные конструкции. К таким элементам относят огнезащитные гибкие материалы, выполненные в виде специальных подушек, а также формованные изделия из огнезащитных бетонов.

При разработке составов огнезащитного бетона для заделки кабельных проходов, наряду с обеспечением требуемого предела огнестойкости, существенным является учет фактора обеспечения режима работы силового кабеля, перегрев которого в нормальных условиях эксплуатации не допускается

[1-3]. Особое внимание при решении этой задачи уделяется влиянию плотности бетонного материала, применяемого для заделки, на режим работы силового кабеля.

Испытания различных видов бетонных огнезащитных заделок проводились на специально изготовленном стенде. Образец кабельной заделки собирался из 2-х бетонных блоков (300×200×100 мм), в среднюю часть которых помещался 4-х жильный кабель марки АВВГ – 4×10. Общая длина кабеля составляла 1300 мм. Токоведущие жилы из алюминия соединялись последовательно. В среднюю часть жилы монтировался термоэлектрический преобразователь.

Образец кабельной заделки высушивался в сушильном шкафу до постоянной массы. При прокладке кабеля в канал для лучшего уплотнения применялся раствор, аналогичный используемому для получения блоков. Обжимались блоки друг с другом с помощью изоленды, после чего смонтированный образец сушился еще 24 ч при температуре 20±5°С.

Для проведения испытаний использовали:

- прибор для регистрации температур типа В7-34А. Диапазон измерения от 20 до 800°С, класс точности не более 0.1;
- термоэлектрический преобразователь типа ТХК, пределы измерения от 0 до 800°С, диаметр спая (0.5±0.1) мм;
- источник электрического тока, представляющий собой блок из ЛА-ТРа и нагрузочного трансформатора. Источник позволяет устанавливать ток от 0 до 50 А.

Регулируя ток источника питания, устанавливали значение допустимого длительного тока I_0 по ПУЭ, которое для кабеля АВВГ-4×10 составляло 42 А.

При длительном пропускании тока в установившемся режиме температура токопроводящей жилы кабеля не должна превышать 65±1°С. Данные испытаний бетонов различных видов и плотности приведены в таблицах 1, 2 и на рисунке.

Таблица 1

Зависимость температуры перегрева кабеля от плотности вермику литозолобетона

№ состава	Фактический расход материалов на 1 м ³ бетона				Свойства бетона		Температура на жиле в заделке, °С
	цемент, кг	вермикулит, кг/л	ЗШС, кг	вода, л	плотность в сухом состоянии, кг/м ³	прочность при сжатии, МПа	
1	215	176/1177	64	544	460	0.7	70
2	414	155/1033	124	486	670	2.5	66
3	477	142/947	143	458	725	3.2	65
4	544	163/1087	191	423	840	4.1	57

Таблица 2

Зависимость температуры перегрева кабеля от плотности шунгизитозолобетона

№ состава	Фактический расход материалов на 1 м ³ бетона					Свойства бетона		Температура на жиле в заделке, °С
	цемент, кг	шунгизит фр. 5-10 мм, кг/л	шунгизитовый песок фр. 0-5 мм, кг/л	ЗШС, кг	Вода, л	плотность в сухом состоянии, кг/м ³	прочность при сжатии, МПа	
1	82	181/412	421/576	25	217	711	1.4	57
2	96	249/575	403/575	29	205	783	1.9	56
3	93	212/482	516/723	28	186	850	2.1	50

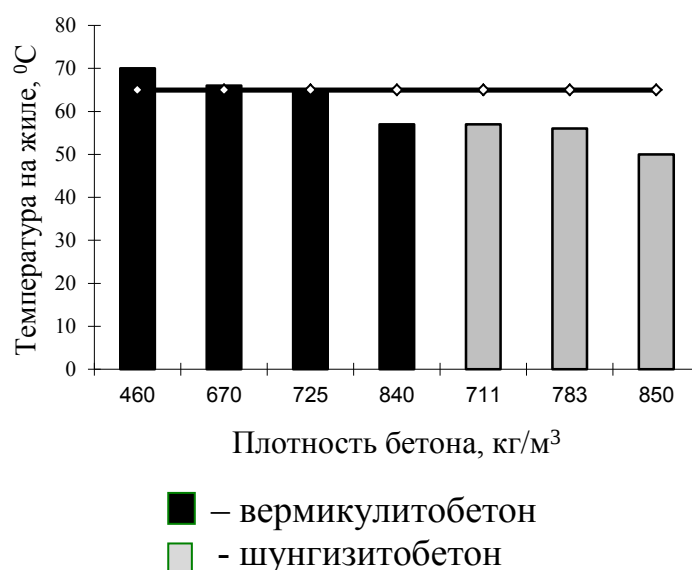


Рис. Влияние плотности легких бетонов на температуру на жиле кабеля

Как видно из таблиц и рисунка температура на токоведущей жиле кабеля существенно зависит от плотности и вида бетона, уменьшаясь по мере повышения плотности. Вермикулитобетон в качестве огнезащитной заделки кабельных проходок, исходя из требований ГОСТ Р 5037.1-93, по максимально допустимой температуре 65°С на токоведущей жиле кабеля, не может быть рекомендован с плотностью ниже 725 кг/м³. При использовании шунгизитобетона с минимальной плотностью 710 кг/м³ температура на жиле кабеля составляет 57°С. При повышении плотности до 850 кг/м³ температура снижается до 50°С. При использовании тяжелого жаростойкого бетона с плотностью 2200 кг/м³ в качестве огнезащитной заделки температура на жиле кабеля составляет 37°С.

Список литературы

1. ГОСТ Р 53310-2009 «Проходки кабельные, вводы герметичные и проходки шинопроводов. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний на огнестойкость».
2. НПБ 248-97. Кабели и провода электрические. Показатели пожарной опасности. Методы испытаний.
3. НПБ 237-97 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость кабельных проходок и герметичных кабельных вводов.

ИЗУЧЕНИЕ ЗОЛООТХОДОВ ОТ СЖИГАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ

Белогурова Т.П.

старший научный сотрудник Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук (ИХТРЭМС КНЦ РАН), канд. техн. наук, Россия, г. Апатиты

Цырятьева А.В., Миханошина И.А.

инженеры ИХТРЭМС КНЦ РАН, Россия, г. Апатиты

В статье представлены результаты исследования золоотходов, образующихся после сжигания побочных продуктов обогащения угля в виде водоугольного топлива. Показана возможность применения данных золоотходов в качестве компонента в бетонах.

Ключевые слова: отходы углеобогащения, промпродукт, водоугольное топливо, сжигание, золоотходы, наполнитель бетона.

При обогащении угля на углеобогащительных фабриках образуются тонкодисперсные отходы в виде фильтр-кека. Значительный диапазон изменения зольности и влажности не позволяет использовать данный продукт в качестве топлива в существующих энергетических агрегатах. Поэтому в настоящее время фильтр-кек сбрасывается в отвал. Одним из оптимальных решений по снижению отрицательного воздействия этих отходов на окружающую среду является использование водоугольного топлива (ВУТ) [1].

В рамках комплексного решения проблемы утилизации побочных продуктов обогащения угля в НПО «Сибэкотехника» была разработана новая технология приготовления и сжигания ВУТ [2]. По предлагаемой технологии повышение и стабилизация низшей теплоты сгорания ВУТ обеспечивается за счет поддержания зольности твердой фазы суспензии около 40.0% посредством приготовления водоугольного топлива из смеси фильтр-кека и промпродукта или исходного угля. Для опытно-промышленной проверки предложенной технологии использовались тонкодисперсные отходы углеобогащения (фильтр-кеки и шламы каменных углей марок «КС», «СС» и «Т» Кузнецкого угольного бассейна), промпродукт и исходный уголь ОФ «Междуреченская» (г. Междуреченск, Кемеровская область).

В процессе сжигания ВУТ осуществлялся отбор технологических проб уловленной золы и образующегося шлака. Отобранная сборная технологическая проба золоотходов была исследована на предмет возможности использования их в качестве микронаполнителя в бетоны.

Для исследований от пробы была отсеяна крупная фракция шлака (>3 мм) и золоотходы (ЗО) были разделены на две составляющие: ЗОШ – шлаковую часть (> 0.315 мм) и ЗОЗ – зольную (< 0.315 мм).

Исходя из результатов химического анализа, главными компонентами в составе золоотходов являются SiO_2 – (до 40%), Al_2O_3 – (до 21%), и Fe_2O_3 – (до 4%). Содержание CaO и MgO в золоотходах составляют – до 5% и до 2% соответственно, а Na_2O и K_2O – до 1.5%. Содержание SO_3 не превышает 0.6%. По сравнению с ранее изученными золоотходами от сжигания ВУТ [3], данные золоотходы характеризуются достаточно высоким содержанием углерода С – (14%) и значений п.п.п. – (20%), что свидетельствует о неполном выгорании угля в золоотходах.

По данным химического состава установлены модуль основности – $M_o - 0.15$; силикатный модуль – $M_c - 1.70$ и коэффициент качества – $K - 0.66$. На основании полученных данных исследуемые золоотходы относятся к низкокальциевым золам, по модулю основности – к кислому типу, по суммарному критерию качества – к группе скрыто активных или инертных материалов. В составе общей пробы золоотходов, ее зольной и шлаковой частей, существенных различий не наблюдается.

В составе исследуемых золоотходов выделены 6 основных минеральных фаз, мас.‰: шлак – 60, графит – 20, стекло – 18, железо – 0.5, гематит – 0.5, магнетит – 1. Минеральный состав золы и шлака от сжигания ВУТ на основе побочных продуктов обогащения показал, что образование частиц шлака связано с частичным или полным оплавлением неорганического вещества углей сложного силикатного и магнезиального состава. О неоднородности угля свидетельствует разнообразие структуры и форм графита и угля. В золоотходах ВУТ присутствует железо в различных формах, которое восстанавливается до металла в присутствии угля при плавлении силикатных пород. В целом, золоотходы от сжигания ВУТ характеризуются большим количеством рыхлого углеродистого остатка и рыхлых спеков, низким содержанием оплавленного шлака, высоким содержанием оксидов железа, что непосредственно определяет их свойства. Данные минерального состава полностью согласуются с химическим анализом золоотходов ВУТ.

Рентгенографическими исследованиями во всех пробах золоотходов с достаточной вероятностью идентифицируются пики кварца, графита, магнетита, гематита, муллита, анортита. Дифференциально-термическим анализом в пробах установлены незначительные эндоэффекты, связанные с удалением гигроскопической влаги и разложением карбонатной составляющей. Экзотермические эффекты при температуре 460-750°C обусловлены наличием в золоотходах коксовых и полукоксовых остатков, образовавшихся из несгоревших частиц топлива при высокой температуре. Данный эффект наиболее выражен у шлаковой части золоотходов, в которых содержится больше не-

сгоревшего угля. По результатам термогравиметрии общие потери при прокаливании при температуре 950°C для общей пробы золоотходов составляют 26.8%, зольной части – 18.2% и шлаковой части – 39.2%, что также согласуется с предыдущими анализами. Таким образом, комплексом проведенных физико-химических исследований установлено, что золоотходы, полученные от сжигания ВУТ на основе побочных продуктов обогащения угля относятся к типичным золам от сжигания каменного угля со значительно большим содержанием углеродистого остатка.

Гранулометрический состав золоотходов общей пробы представлен преимущественно зольной частью: содержание фракций менее 0.315 мм составляет 72.5%. По остатку на сите 0.63 данные золоотходы относятся к среднedisперсным. С помощью анализатора SALD-201V установлено, что размер частиц общей пробы золоотходов находится в пределах значений от 1 до 100 мкм, при этом 75% частиц имеют размер менее 60 мкм. В шлаковой части золоотходов размер частиц составляют 300-350 мкм. Таким образом, золоотходы общей пробы и ее зольной части относятся к группе мелких, а шлаковой части – крупных.

По удельной поверхности золоотходы при отсеве шлаковой части относятся к средне-тонкодисперсным продуктам сгорания. Особенность технологии сжигания угля в виде ВУТ позволяет получать золоотходы с очень низкой насыпной плотностью, высокой удельной поверхностью и пористостью по сравнению с обычными золоотходами, образованными при сжигании угля по традиционной технологии.

Дальнейшие исследования планируется направить на совершенствование технологии сжигания ВУТ на основе побочных продуктов обогащения угля и на изучение взаимосвязи состава, структуры и свойств золоотходов от сжигания ВУТ как наполнителя бетонов.

Список литературы

1. Производство и использование водоугольного топлива [Текст] / В.Е. Зайденварг и [др.]. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 176 с.
2. Совершенствование технологического комплекса по приготовлению и сжиганию суспензионного угольного топлива на основе отходов углеобогащения [Текст] / В.И. Мурко и [др.]. // Уголь. – Апрель, 2013. – С.50-52.
3. К проблеме утилизации золоотходов от сжигания водоугольного топлива [Текст] / О.Н. Крашенинников и [др.]. // Строительные материалы. – 2010. – №11. – С.10-11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РЕДУКТОРА ПРИ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТАХ МЕХАНИЗМА

Бертяев В.Д.

профессор кафедры теоретической механики ФГБОУ ВО Тульского
государственного университета, канд. техн. наук, профессор,
Россия, г. Тула

Митяев А.Г.

профессор кафедры теоретической механики ФГБОУ ВО Тульского
государственного университета, канд. физ-мат. наук, профессор,
Россия, г. Тула

Ткач О.А.

доцент кафедры теоретической механики ФГБОУ ВО Тульского
государственного университета, канд. техн. наук, доцент,
Россия, г. Тула

В статье представлены результаты исследования движения редуктора при конструктивных и технологических дефектах механизма. Составлены и решены дифференциальные уравнения движения. Определены динамические реакции внешних и внутренних связей.

Ключевые слова: неуравновешенность, динамические реакции, осевые и центробежные моменты инерции.

Исследование поведения любой механической системы всегда начинается с выбора физической модели. Переходя от реальной системы к ее физической схеме, обычно упрощают систему, пренебрегая несущественными для данной задачи факторами. Одним из важных факторов, влияющих на поведение системы, являются конструктивные и технологические дефекты механизма. Актуальной становится такая задача исследования механической системы, при которой оценивается влияние этих дефектов на динамические характеристики механизма.

Объектом исследования является редуктор с цилиндрической зубчатой передачей в неустановившемся режиме разгона (рис. 1). Редуктор приводится в движение электродвигателем, развивающим момент, приложенный к маховику 1

$$M_D = M_0 - v_0 \omega_1,$$

где M_0, v_0 – постоянные величины.

Полезная нагрузка моделируется моментом M_H

$$M_H = -v_1 \omega_4,$$

где v_1 – постоянная величина.

Цилиндрические зубчатые колеса насажены на валы с технологическими несовершенствами: одно с перекосом на угол β_k , другое со смещением центра масс Δ_j (j, k – номера колес). Для простоты принято, что центры масс остальных колес совпадает с осями вращения, а перекосы при насадке на вал отсутствуют.

Требуется:

1. Составить дифференциальное уравнение движения механизма.
2. Составить уравнения для определения динамических реакций внешних и внутренних связей.
3. Проинтегрировать при нулевых начальных условиях $\varphi|_{t=0} = 0, \dot{\varphi}|_{t=0} = 0$ дифференциальное уравнение движения маховика (ведомого звена) на ЭВМ на отрезке времени $[0, \tau]$. Величину τ рекомендуется принимать из промежутка $0,5 \div 10,0$ с.
4. Построить графики функций $\varphi = \varphi(t)$, $\omega_z = \omega_z(t)$, $\varepsilon_z = \varepsilon_z(t)$ и определяемых динамических реакций. Определить предельную угловую скорость маховика.
5. Проанализировать полученные результаты.
6. Численное интегрирование дифференциальных уравнений движения при заданных начальных условиях рекомендуется провести в одной из математических сред (например, Mathcad) [1]. Там же провести определение указанных динамических реакций и построение графиков.

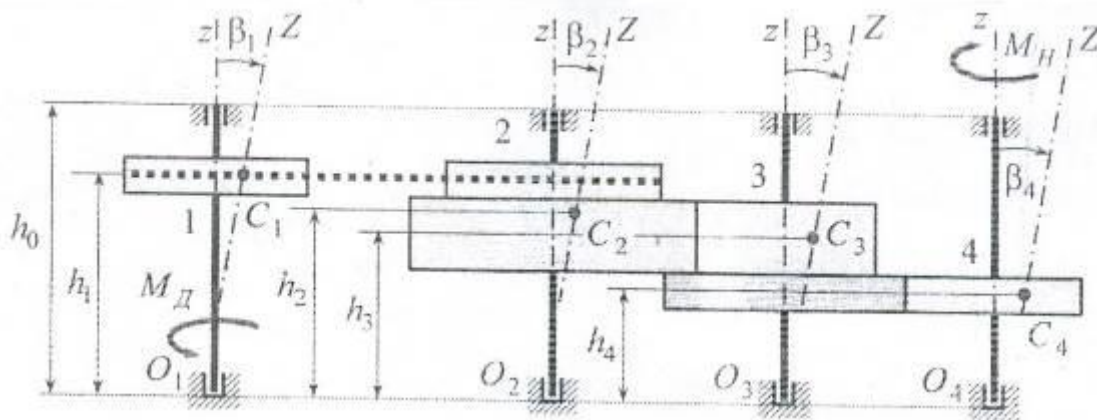


Рис. 1. Конструкционная схема

Для составления дифференциального уравнения движения системы используем теорему об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме [2]:

$$\frac{dT}{dt} = \sum_k N_k^e + \sum_k N_k^i, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия системы, $\sum_k N_k^e$ – сумма мощностей внутренних сил, $\sum_k N_k^i$ – сумма мощностей внешних сил.

Вычислим кинетическую энергию механизма как сумму кинетических энергий тел, входящих в ее состав

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4.$$

Кинетические энергии колес, вращающихся вокруг неподвижных осей

$$T_k = \frac{1}{2} I_{k_{O_k z}} \omega_k^2, \quad k = \overline{1,4} \quad (2)$$

где $I_{k_{O_k z}}$ – моменты инерции маховиков относительно осей вращения.

Выразим угловые скорости ω_k , $k = \overline{1,4}$ через обобщенную скорость $\dot{\phi}$.

Уравнения кинематических связей (рис. 1):

$$v_A = \omega_1 r_1 = v_B = \omega_2 r_2; v_C^{(2)} = \omega_2 R_2 = v_C^{(3)} = \omega_3 r_3; v_D^{(3)} = \omega_3 R_3 = v_D^{(4)} = \omega_4 R_4,$$

откуда

$$\omega_4 = \dot{\phi}; \omega_3 = -\frac{R_4}{R_3} \dot{\phi}; \omega_2 = \frac{r_3}{R_3} \frac{R_4}{R_2} \dot{\phi}; \omega_1 = \frac{r_2}{R_2} \frac{r_3}{R_3} \frac{R_4}{r_1} \dot{\phi}. \quad (3)$$

Вычислим моменты инерции тел, совершающих вращательные движения вокруг неподвижных осей $O_k z$, $k = \overline{1,4}$. По теореме Гюйгенса – Штейнера

$$I_{O_k z}^{(k)} = I_{C_k z}^{(k)} + m_k \Delta_k^2, \quad k = \overline{1,4}. \quad (4)$$

Здесь $I_{C_k z}^{(k)}$, $k = \overline{1,4}$ – моменты инерции тел относительно осей параллельных осям вращения, но проходящими через центры масс каждого тела соответственно; Δ_k^2 , $k = \overline{1,4}$ – расстояние между осями $O_k z$, $C_k z$, $k = \overline{1,4}$.

Главные оси инерции $C_k z$, $k = \overline{1,4}$ повернуты относительно них вокруг осей $O_k x$, $k = \overline{1,4}$ на углы β_k . Поэтому

$$I_{k_{C_k z}} = I_{k_{C_k z}} \cos^2 \beta_k + I_{k_{C_k y}} \sin^2 \beta_k, \quad k = \overline{1,4}. \quad (5)$$

Подставив формулы (5) в соотношения (4), получим выражения моментов инерции каждого тела системы относительно осей вращения

$$I_{O_k z}^{(k)} = I_{k_{C_k z}}^{(k)} \cos^2 \beta_k + I_{k_{C_k y}}^{(k)} \sin^2 \beta_k + m_k \Delta_k^2, \quad k = \overline{1,4}. \quad (6)$$

Подставив формулы (3), (6) в выражение (2), получим

$$T = \frac{1}{2} I_{np} \dot{\phi}. \quad (7)$$

Здесь I_{np} – так называемый приведенный момент инерции механизма, вычисляемый по формуле [2]

$$I_{np} = I_{O_4z}^{(4)} + I_{O_3z}^{(3)} \left(\frac{R_4}{R_3} \right)^2 + I_{O_2z}^{(2)} \left(\frac{r_3}{R_3} \frac{R_4}{R_2} \right)^2 + I_{O_1z}^{(1)} \left(\frac{r_2}{R_2} \frac{r_3}{R_3} \frac{R_4}{r_1} \right)^2. \quad (8)$$

Вычислим сумму мощностей внешних сил.

Внешними силами являются: силы тяжести $\bar{P}_k = m_k \bar{g}$, $k = \overline{1,3}$, реакции в подшипниках $\bar{R}_1, \bar{R}_2, \bar{R}_3, \bar{R}_4$ и в подпятниках $\bar{R}_{O_1}, \bar{R}_{O_2}, \bar{R}_{O_3}, \bar{R}_{O_4}$, полезная нагрузка M_H и M_D – момент, передаваемый электродвигателем.

Заметим, что мощности сил реакций равны нулю, так как эти силы приложены в точках, скорости которых равны нулю. Мощность силы $\bar{P}_k$ также равна нулю, так как $\bar{P}_1 \perp \bar{v}_{C_k}$.

Сумма мощностей остальных сил равна:

$$N_{M_D} = \bar{M}_D \cdot \bar{\omega}_1 = M_0 \omega_1 - v_0 \omega_1^2,$$

$$N_{M_H} = \bar{M}_P \cdot \bar{\omega}_4 = -v_1 \omega_4^2.$$

Или

$$\sum_k N_k^e = M_0 \omega_1 - v_0 \omega_1^2 - v_1 \omega_4^2.$$

С учетом кинематических соотношений (3) сумму мощностей внешних сил преобразуем к виду:

$$\sum_k N_k^e = M_{np} \omega = M_{np} \dot{\phi}, \quad (10)$$

$$\text{где } M_{np} = M_{np}^0 - v_{np} \dot{\phi}, \quad M_{np}^0 = M_0 \frac{r_2}{R_2} \frac{r_3}{R_3} \frac{R_4}{r_1}, \quad v_{np} = v_1 + v_0 \left(\frac{r_2}{R_2} \frac{r_3}{R_3} \frac{R_4}{r_1} \right)^2 \quad (11)$$

называется приведенным моментом.

Подставляя (7), (9) и (10) в уравнение (1) и учитывая формулы (8) и (11) найдем дифференциальное уравнение движения системы

$$I_{np} \ddot{\phi} = M_{np}^0 - v_{np} \dot{\phi}.$$

Представим данное уравнение в виде:

$$\ddot{\phi} + n \dot{\phi} = \varepsilon_0 \Rightarrow \dot{\omega} = n(\omega^* - \omega), \quad (12)$$

где введены коэффициенты, имеющие определенный физический смысл:

$$\varepsilon_0 = \frac{M_{np}^0}{I_{np}} - \text{начальное угловое ускорение,}$$

$$n = \frac{v_{np}}{I_{np}} - \text{коэффициент сопротивления,}$$

$$\omega^* = \frac{\varepsilon_0}{n} = \frac{M_{np}^0}{v_{np}} - \text{предельное значение величины угловой скорости ве-}$$

домого звена (угловая скорость установившегося движения).

Начальные условия

$$\varphi|_{t=0} = 0, \dot{\varphi}|_{t=0} = 0. \quad (13)$$

Уравнения (12), (13) представляют математическую модель механизма.

Дифференциальное уравнение (12) $\ddot{\varphi} + n\dot{\varphi} = \varepsilon_0$ можно отнести как к классу линейных неоднородных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами, так и к классу уравнений с разделяющимися переменными.

Используя замену $\omega = \dot{\varphi}$ неоднородное дифференциальное уравнение (12) сведем к дифференциальному уравнению первого порядка с разделяющимися переменными

$$\dot{\omega} = n(\omega^* - \omega). \quad (14)$$

Разделяя в уравнении переменные и проводя интегрирование с учетом начальных условий (13) получим

$$\int_{\omega_0}^{\omega} \frac{d\omega}{\omega^* - \omega} = n \int_0^t dt \Rightarrow \ln(\omega^* - \omega) \Big|_0^{\omega} = -nt. \quad (15)$$

Разрешая уравнение относительно угловой скорости ω , получим

$$\dot{\varphi} = \omega = \omega^* (1 - e^{-nt}). \quad (16)$$

Проводя повторное интегрирование уравнения, с учетом начальных условий (13), найдем закон вращательного движения ведомого звена:

$$\varphi = \omega^* t - \frac{\omega^*}{n} (1 - e^{-nt}). \quad (17)$$

Определение реакций внешних и внутренних связей

Для определения реакций внешних и внутренних связей расчленим систему на составные части и составим расчетные схемы для каждого тела (рис. 2). На расчетных схемах, помимо ранее введенных сил, показаны реакции цепи, связывающей маховик двигателя и редуктор, силы зацепления в зубчатых колесах: $\bar{S}_{12} = -\bar{S}_{21}$, $\bar{T}_{23} = -\bar{T}_{32}$, $\bar{T}_{34} = -\bar{T}_{43}$, $\bar{N}_{23} = -\bar{N}_{32}$, $\bar{N}_{34} = -\bar{N}_{43}$.

Учтем, что согласно [3] модули сил T_{ij} , N_{ij} связаны соотношением $N_{ij} = \operatorname{tg} \alpha T_{ij}$.

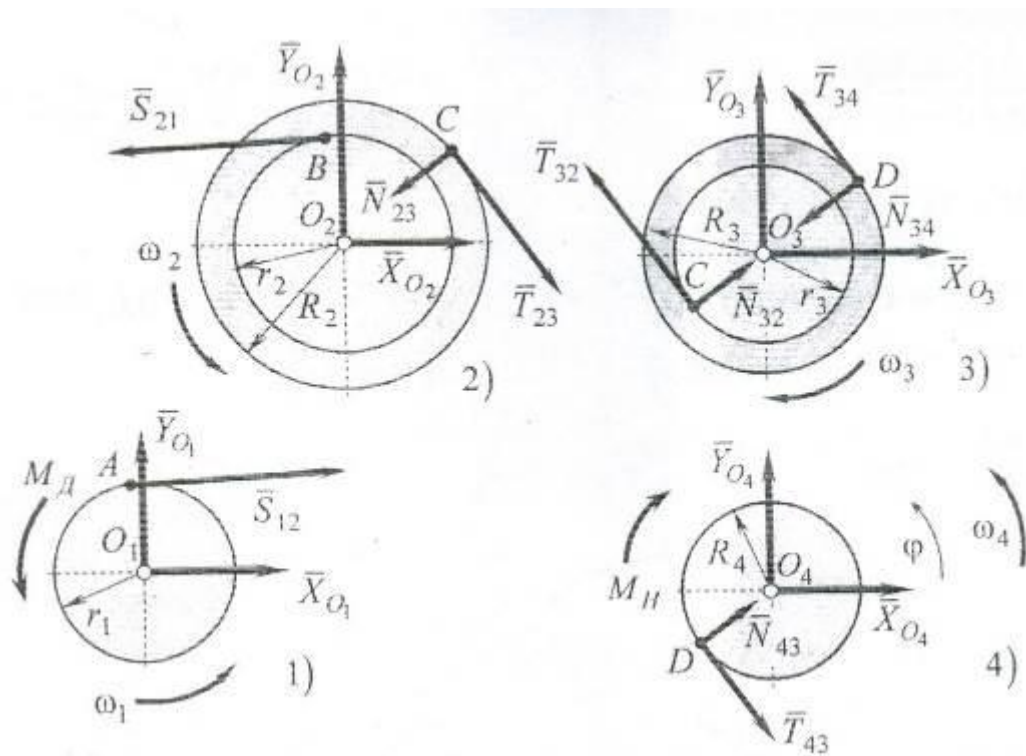


Рис. 2. Расчетная схема механизма

К каждому телу, изображенному на расчетной схеме (рис. 2), применим две основные теоремы механики материальной системы. В неинерциальных системах отсчета теоремы примут вид:

теорема об изменении количества движения [2]

$$\frac{d'm\bar{v}_C}{dt} + \bar{\omega} \times m\bar{v}_C = \sum_k \bar{F}_k^e, \quad (18)$$

теорема об изменении кинетического момента [2]

$$\frac{d'\bar{L}_O}{dt} + \bar{\omega} \times \bar{L}_O = \sum_k \bar{M}_O^e(\bar{F}_k^e). \quad (19)$$

В проекциях на оси координат данные уравнения примут вид:
теорема об изменении количества движения

$$\begin{aligned} -m_k \Delta_k \omega_{kz}^2 &= \sum_k F_{kx}^e, \\ m_k \Delta_k \dot{\omega}_{kz} &= \sum_k F_{ky}^e, \\ 0 &= \sum_k F_{kz}^e; \end{aligned} \quad (20)$$

теорема об изменении кинетического момента

$$\begin{aligned} -I_{zx}^{(k)} \dot{\omega}_{kz} + I_{zy}^{(k)} \omega_{kz}^2 &= \sum_k M_x(\bar{F}_k^e), \\ -I_{zy}^{(k)} \dot{\omega}_{kz} - I_{zx}^{(k)} \omega_{kz}^2 &= \sum_k M_y(\bar{F}_k^e), \end{aligned} \quad (21)$$

$$I_z^{(k)} \dot{\omega}_{kz} = \sum_k M_z (\bar{F}_k^e).$$

Для нахождения моментов инерции используем теорему Гюйгенса – Штейнера [3]:

$$\begin{aligned} I_x^{(k)} &= I_{C_k x}^{(k)} + m_k h_k^2, \\ I_y^{(k)} &= I_{C_k y}^{(k)} \cos^2 \beta_k + I_{C_k z}^{(k)} \sin^2 \beta_k + m_k (\Delta_k^2 + h_k^2), \\ I_{zx}^{(k)} &= I_{xz}^{(k)} = m_k \Delta_k h_k, \\ I_{zy}^{(k)} &= I_{yz}^{(k)} = \frac{1}{2} (I_{C_k z}^{(k)} - I_{C_k y}^{(k)}) \sin 2\beta_k, \\ I_z^{(k)} &= I_{C_k z}^{(k)} \cos^2 \beta_k + I_{C_k y}^{(k)} \sin^2 \beta_k + m_k \Delta_k^2. \end{aligned} \quad (22)$$

Подставляя выражения (22) в соотношения (20) и (21) получим уравнения для нахождения реакций внешних и внутренних связей механической системы для тела 1:

$$\begin{aligned} -m_1 \Delta_1 \omega_1^2 &= X_{O_1} + X_1 + S_{12} \cos \theta, \\ m_1 \Delta_1 \dot{\omega}_1 &= Y_{O_1} + Y_1 + S_{12} \sin \theta, \\ 0 &= Z_{O_1} - m_1 g, \\ -I_{zx}^{(1)} \dot{\omega}_1 + I_{zy}^{(1)} \omega_1^2 &= -Y_1 h_0 - S_{12} h_1 \sin \theta, \\ -I_{zx}^{(1)} \dot{\omega}_1 - I_{zy}^{(1)} \omega_1^2 &= -X_1 h_0 + m_1 g \Delta_1 + S_{12} h_1 \sin \theta, \\ I_z^{(1)} \dot{\omega}_1 &= M_D - S_{12} r_1. \end{aligned} \quad (23)$$

Аналогично можно записать уравнения для тел 2, 3, 4.

Дифференциальное уравнение движения системы $I_{np} \ddot{\phi} = M_{np}^0 - v_{np} \dot{\phi}$ полностью совпадает с дифференциальным уравнением (12), что подтверждает правильность решения данной задачи.

Список литературы

1. Бертяев, В.Д., Латышев, В.И., Митяев, А.Г. Курсовые работы с использованием Mathcad [Текст] / В.Д. Бертяев, В.И. Латышев, А.Г. Митяев. – Москва: Из-во АСВ, 2010, 308 с.
2. Лойцянский, Л.Г., Лурье, А.И. Курс теоретической механики [Текст] / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – Москва: Наука, 1983, 640 с.
3. Фролов, К.В. Теория механизмов и машин [Текст] / К.В. Фролов. – Москва: Высшая школа, 1987, 496 с.

МАХОВСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ОТ ОСИ СИММЕТРИИ СВЕРХЗВУКОВОЙ НЕИЗОБАРИЧЕСКОЙ СТРУИ

Булат М.П.

аспирант Санкт-Петербургского национального исследовательского
университет информационных технологий, механики и оптики,
Россия, г. Санкт-Петербург

Проведены краткие сведения о тройных конфигурациях ударных волн, маховском отражении ударной волны от твердой стенки и оси симметрии. Рассмотрены различные известные полэмпирические модели расчета диаметра диска Маха в сверхзвуковой струе и удаления его от среза сопла. Показано, что диску Маха в струе соответствует так называемая стационарная маховская тройная конфигурация ударных волн, в которой интенсивность главного скачка (диска Маха) максимально возможная для заданного числа Маха. Приведено теоретическое и расчетно-экспериментальное обоснование модели образования диска Маха в сверхзвуковой нерасчетной струе. Результаты расчета удовлетворительно совпадают с экспериментом.

Ключевые слова: диск Маха, ножка Маха, регулярное отражение скачка, нерегулярное отражение скачка, стационарная маховская конфигурация, тройная конфигурация ударных волн, тройная точка.

Введение

Сверхзвуковая струя имеет периодическую структуру, состоящую из повторяющихся ячеек бочкообразной формы. Если нерасчетность струи, которая определяется как отношение давления на срезе сверхзвукового сопла к давлению в окружающей среде, существенно отличается от единицы, то в ударно-волновой структуре струи становятся хорошо заметны прямые скачки уплотнения, получившие названия дисков Маха. Диск Маха имеет существенные размеры только в первой бочке струи и иногда во второй. Однако его присутствие сильно влияет на геометрию струи вниз по течению (рис. 1). В струях ракетных двигателей в областях за дисками Маха происходят реакции горения и диссоциации, что приводит к значительному росту температуры, давления и лучистого потока. Несмотря на практическую важность задачи законченная теория образования диска Маха в сверхзвуковой струе до сих пор отсутствует. Ниже излагаются необходимые сведения о тройных конфигурациях ударных волн, приводится описание модели "стационарной маховской конфигурации", а также обоснование ее применения к задаче расчета диска Маха в сверхзвуковой струе идеального газа.

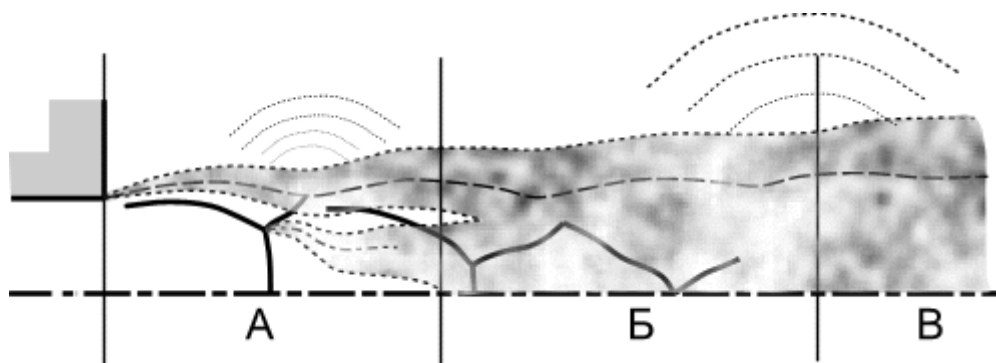


Рис. 1. Характерные участки сверхзвуковой турбулентной струи.
а – начальный участок, б – переходный участок, в – основной участок

Краткие сведения из теории тройных конфигураций скачков

Тройной конфигурацией (ТК) ударных волн (скачков) называют ударно-волновую структуру, состоящую из пересекающихся на некоторой линии трех фронтов скачков уплотнения σ и поверхности тангенциального разрыва τ , исходящего из этой линии (рис. 2), σ_1 – называется приходящим скачком, σ_2 – исходящим, σ_c – главным скачком уплотнения.

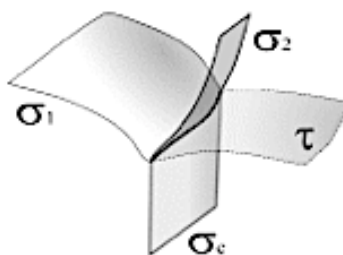


Рис. 2. Тройная конфигурация ударных волн

Тройные конфигурации встречаются при нерегулярном отражении скачка от твердой поверхности и от оси симметрии в осесимметричных течениях, в некоторых задачах о взаимодействии встречных скачков, а также при взаимодействии догоняющих скачков. Впервые понятие о ТК было введено в задаче о набегаии ударной волны на клин (рис. 3).

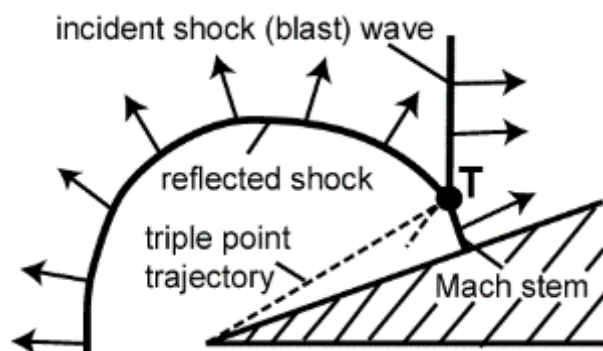


Рис. 3. Образование тройной конфигурации при набегаии ударной волны на клин.
Т – тройная точка. Стрелками показано направление перемещения ударных волн

По мере распространения вдоль клина интенсивность набегающей волны увеличивается, а ее поверхность искривляется, оставаясь перпендикуляр-

ной поверхности клина. Начиная с некоторого момента, ударная волна разветвляется с образованием *ножки Маха*.

Позднее был изучен стационарный случай отражения скачка от твердой стенки. При небольшой интенсивности скачка, падающего на стенку, он отражается от стенки регулярным образом (рис. 3). Начиная с некоторой интенсивности, отраженный скачок уже не может довернуть поток таким образом, чтобы вектор скорости за ним был параллелен стенке, т.к. предельный угол разворота потока на скачке, вычисленный по числу Маха за первым скачком, меньше угла наклона вектора скорости к поверхности стенке за первым скачком. Тогда отражение происходит нерегулярно с образованием ножки Маха.

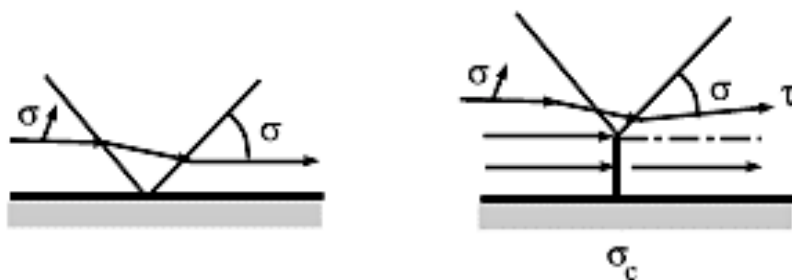


Рис. 3. Регулярное (слева) и нерегулярное (справа) отражение скачка от стенки.
 σ_c – ножка Маха

В отличие от нестационарного случая интенсивность ножки Маха всегда равна максимально возможной для заданного числа Маха

$$J_m = (1 + \varepsilon)M^2 - \varepsilon, \quad \varepsilon = \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}, \quad \gamma - \text{показатель адиабаты.}$$

Тройные конфигурации удобно изучать на плоскости ударных полях $\ln J - \beta$ (логарифм интенсивности скачка, равной отношению давления за скачком к давлению перед скачком, угол разворота потока на скачке), прозванных за характерный вид *сердцевидными кривыми*. Подробнейший анализ сердцевидных кривых, особых точек, областей существования ТК приведен в [1]. По классификации [1] различают тройные конфигурации ТК-1, ТК-2 и ТК-3.

Тройные конфигурации ТК-1 возникают при взаимодействии встречных скачков уплотнения разных направлений, например, в сверхзвуковых воздухозаборниках внутреннего сжатия. ТК-1 соответствует точка пересечения левых ветвей полях (рис. 4). По мере увеличения интенсивности падающего скачка 1 точка пересечения перемещается по направлению к вершине основной поляры, пока не достигнет ее, этому моменту соответствует стационарная маховская конфигурация (СМК), разделяющая области существования ТК-1 и ТК-2.

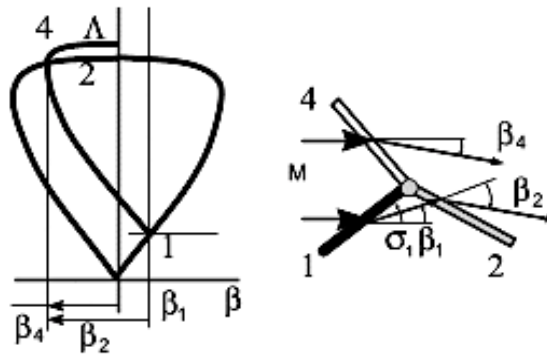


Рис. 4. Тройная конфигурация ТК-1

ТК-1 могут существовать только при числах Маха $M > M_T$

$$M_T = \sqrt{\frac{3 + \gamma}{2}}$$

При меньших числах Маха поляры не пересекаются. При числе Маха равном M_T за скачком достигается максимальное статическое давление, при заданном показателе адиабаты γ (для воздуха $\gamma = 1.4$).

Тройные конфигурации ТК-2 встречаются при нерегулярном отражении скачка уплотнения от стенки. Отличием от ТК-1 является то, что в ТК-2 направление отклонения потока на главном скачке (ножке Маха) меняется на противоположное (рис.5). По мере увеличения интенсивности скачка J_1 главный скачок 4 искривляется. При отражении скачка 1 от стенки ножка Маха искривляется, подходя к стенке ортогонально.

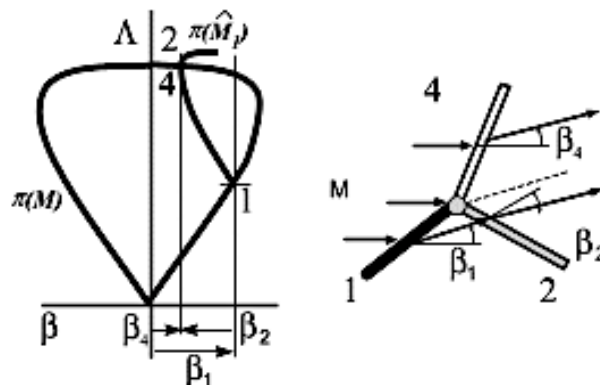


Рис. 5. Тройная конфигурация ТК-2

Тройные конфигурации ТК-3 возникают при взаимодействии догоняющих скачков уплотнения одного направления. Их изучение имеет важное практическое значение для проектирования сверхзвуковых воздухозаборников внешнего сжатия.

Модели образования диска Маха – история изучения

Остановимся более подробно на вопросе о положении маховского диска в струе. Диск Маха имеет заметные размеры только в первой бочке и иногда во второй. Однако его присутствие сильно влияет на геометрию струи вниз по течению.

На невозможность регулярного отражения скачка уплотнения от оси симметрии без образования диска Маха было впервые указано еще в работе Мельникова Д.А. (1962) [2]. Действительно, на оси симметрии должны выполняться условия равенства нулю угла наклона вектора скорости и кривизны линии тока за отраженным скачком, но при $y=0$ это невозможно. При приближении падающего скачка к оси симметрии его кривизна K_σ стремится к бесконечности, т.к. $K_\sigma \sim y^{-1}$, поэтому всегда создаются условия образования маховского диска в нерасчетной струе.

Неудачи в построении методик расчета струй, как правило, в значительной мере связаны с неумением находить положение диска Маха. Подробный анализ данного вопроса выполнен в [3], где обсуждаются различные имеющиеся в литературе гипотезы перехода от регулярного отражения скачка уплотнения от оси к нерегулярному (маховскому). Наиболее известные из них это, так называемая, модель Аббета [4], часто упоминавшаяся в известных работах Дэша [5-11], посвященных построению методики расчета факела двигателя твердотопливной тактической ракеты, а также различные предположения о величине давления за отраженным скачком в тройной точке. Последние мы рассматривать не будем, т.к. сегодня уже известно, что они не применимы в общем случае.

Процедура Аббета устанавливает некоторую аналогию между диском Маха в струе и пусковой ударной волной (ПУВ), возникающей при запуске сопла Лавала. Первоначально предполагалось, что в минимальном сечении течения за диском Маха, давление равно атмосферному. Позднее выяснилось, что это предположение приблизительно выполняется только в сильно недорасширенных струях, у которых сразу за первой бочкой начинается турбулентный участок. В малонерасчетных струях гипотеза Аббета приводит к слишком большим погрешностям.

Гипотезу Аббета модернизировал Дэш [5], предположив, что в критическом сечении за диском Маха выполняется условие «горла течения», т.е. скорость течения становится равной местной скорости звука. Если задавать на падающем скачке положение тройной точки, то тем самым определяются начальные условия для расчета течения, ограниченного диском Маха и тангенциальным разрывом. Считая это течение одномерным, можно выполнить расчет также, как в сопле Лавала. Если в результате расчета в минимальном сечении течения за диском Маха скорость равна местной скорости звука, то в процедуре Аббета-Дэша считается, что положение диска Маха в струе выбрано верно.

Диск Маха в струе – стационарная маховская конфигурация

Среди других моделей хорошо подтверждается экспериментально описанный в [12] критерий, согласно которому образование диска Маха происходит при достижении интенсивности падающего скачка значения $J=J_0$, соответствующего *стационарной маховской конфигурации* (СМК). Такие конфигурации ударных волн подробно изучались в связи с задачей об отражении скачка уплотнения от твердой стенки [13,14]. *Косвенным обоснованием критерия J_0 служит решение задачи первого порядка о тройных конфигурациях*

ударных волн (скачков). Если в каждой точке висячего (падающего на ось симметрии) скачка производить формальный расчет тройной конфигурации ударных волн, то при интенсивностях $J < J_0$ исходящий тангенциальный разрыв τ имеет положительную кривизну. В точке скачка, где $J = J_0$, кривизна τ становится отрицательной [15], что соответствует сложившимся эмпирическим представлениям о форме тангенциального разрыва.

Остановимся более подробно на тройных конфигурациях ТК-2, т.к. они имеют непосредственное отношение к проблеме расчета Диска Маха в сверхзвуковой струе. Тройные конфигурации ТК-1 и ТК-2 разделяет стационарная маховская конфигурация, которой соответствует случай, когда вторичная ударная поляра пересекает основную поляру в ее вершине. В СМК (рис.6) главный скачок уплотнения (4) является прямым. Характерная интенсивность J_0 получается из решения кубического уравнения, соответствующего пересечению поляр в вершине основной поляры (рис.6)

$$\sum_{n=0}^3 A_n z_0^n = 0, z_0 = J_0,$$

$$A_3 = 1 - \varepsilon, A_2 = m\varepsilon^2 - \varepsilon(M^2 + 1) - (M^2 - 2), m = (1 - \varepsilon)(M^2 - 1) - 1,$$

$$A_1 = m\varepsilon(1 + \varepsilon)(M^2 + 1) - (1 + \varepsilon)(2M^2 - 1), A_0 = m(1 + \varepsilon^2)M^2.$$

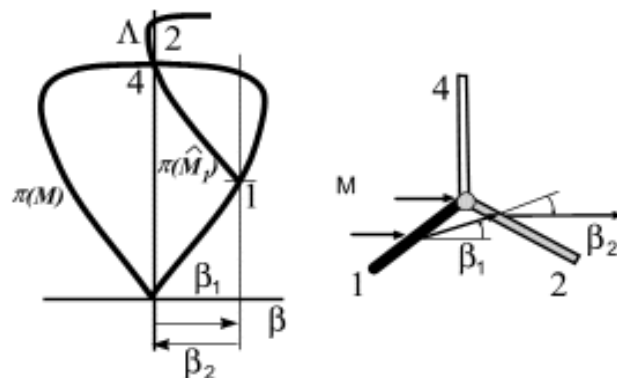


Рис. 6. Стационарная Маховская Конфигурация (СМК)

При некотором характерном числе Маха M_{OR} в СМК поляра, соответствующая числу Маха за приходящим скачком 1, пересекает вершину основной поляры в точке предельного угла поворота 4 (рис. 7).

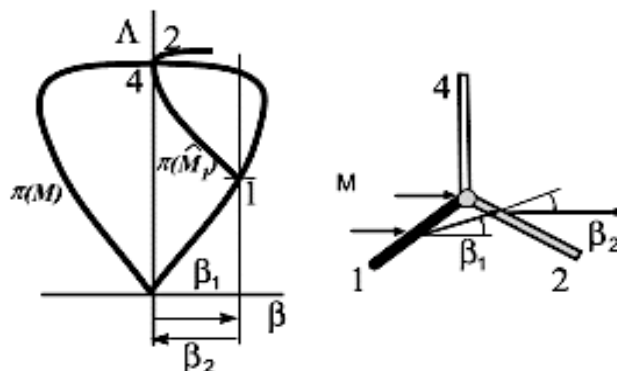


Рис. 7. Особая конфигурация, соответствующая M_{OR}

Отсюда следует трансцендентное уравнение для особого числа M_{OR}

$$\frac{4A_1 \left(\frac{A_1}{A_0} - 3 \frac{A_2}{A_1} \right)^2}{9 - \frac{A_1 A_2}{A_0}} = 9 - \frac{A_1 A_2}{A_0} - 4 \left(3 - \frac{A_2^2}{A_1} \right)$$

коэффициенты A_i имеют то же значение, что и в предыдущем уравнении.

При числах Маха меньших M_{OR} поляра пересекается с осью ординат лежит внутри основной поляры, и поэтому иногда (ошибочно) в качестве критерия перехода к маховскому отражению принимается интенсивность J_R , которой соответствует касание поляры оси ординат (рис.8), что позволяет найти значение этой интенсивности из решения следующего уравнения

$$\sum_{n=0}^3 A_n x_R^n = 0, x_R = \frac{(1 + \varepsilon) M^2}{(J_R + \varepsilon)},$$

$$A_0 = -(1 - \varepsilon)^2 L^4, L = \frac{J_R - \varepsilon}{J_R + \varepsilon},$$

$$A_1 = 2(1 - \varepsilon)(3 - \varepsilon)L^2 - 4(1 - 3\varepsilon)(1 - \varepsilon)L^3 + (1 + \varepsilon)^4 L^4,$$

$$A_2 = 2L^2(1 - 2\varepsilon - \varepsilon^2) - 4L - 1,$$

$$A_3 = 1.$$

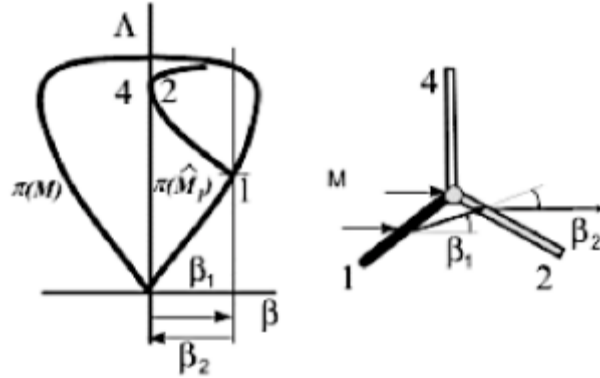


Рис. 8. ТК, соответствующая $J=J_R$, $M < M_{OR}$

Однако в стационарном случае это экспериментально не подтверждается. Данный факт опровергается и разработанной теорией перестройки ударных волн [16]. В осесимметричной струе идеального газа формально тройную точку на висячем скачке можно расположить в различных сечениях. Тройная Конфигурация должна содержать скачки с наименьшими из возможных интенсивностями (в соответствии с *принципом наименьшего действия* Лагранжевой механики). При числе Маха большем M_{OR} образование *тройной конфигурации с диском Маха* на скачке в точке с интенсивностью меньшей J_0 невозможно вследствие теоремы Барышникова [17], которая гласит, что при малом изменении параметра волновая конфигурация (дополнение к ударной волне) должна оставаться топологически неизменной. Дей-

ствительно, интенсивность висячего скачка в данной задаче является параметром. Если бы перестройка произошла раньше, при $J < J_0$, то при дальнейшем изменении параметра J в момент $J = J_0$ конфигурация скачков топологически изменилась бы, т.к. кривизна τ скачком стала бы отрицательной.

Если число Маха перед скачком меньше M_{0R} , то $J_R < J_0$. Казалось бы, в качестве критерия образования Диска Маха нужно принять равенство интенсивности висячего скачка J_R . Однако вновь нарушается теорема Богаевского, т.к. при малом изменении параметра (интенсивности висячего скачка) в сторону увеличения, точка пересечения поляр скачком переходит на сильную ветвь основной ударной поляры, т.е. решение *нестягиваемо (топологически изменяется)* в окрестности точки перестройки ударно-волновой структуры.

Проверка гипотезы СМК для случая образования диска Маха в струе

С целью практического обоснования модели были проведены систематические расчеты перерасширенных струй, истекающих из конического и профилированного сопла. Выбор для анализа перерасширенных струй был обусловлен простотой течения перед скачком в таких струях, представляющих собой продолжение течения по соплу. В недорасширенных же струях структура течения перед скачком намного сложнее, содержит веер волн сжатия, слабые разрывы, что осложняет расчет геометрии УВС. Построение падающего скачка уплотнения в перерасширенной струе производилось с помощью решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих его геометрию [18], в каждой точке скачка его интенсивность сравнивалась с $J_0(M)$. Точка, в которой в пределах заданной точности выполнялось условие $J = J_0$ считалась местом зарождения диска Маха. На рис. 9 приведено сравнение результатов расчетов диаметра Диска Маха и его расстояния от среза сопла с численным методом (модель идеального газа). На рис. 9 результаты численных расчетов показаны затененными областями, соответствующими "размытию" скачков на несколько разностных ячеек.

Результаты расчетов хорошо соответствуют как численным методам, так и сложившимся на основе экспериментальных исследований представлениям о зависимости диаметра Диска Маха от основных параметров сверхзвуковой струи.

Для более тщательной проверки модели J_0 был произведен ряд экспериментов на соплах с углом полураствора сопла от 8 до 15°. При расчетах течение газа по соплу моделировалось течением от точечного источника.

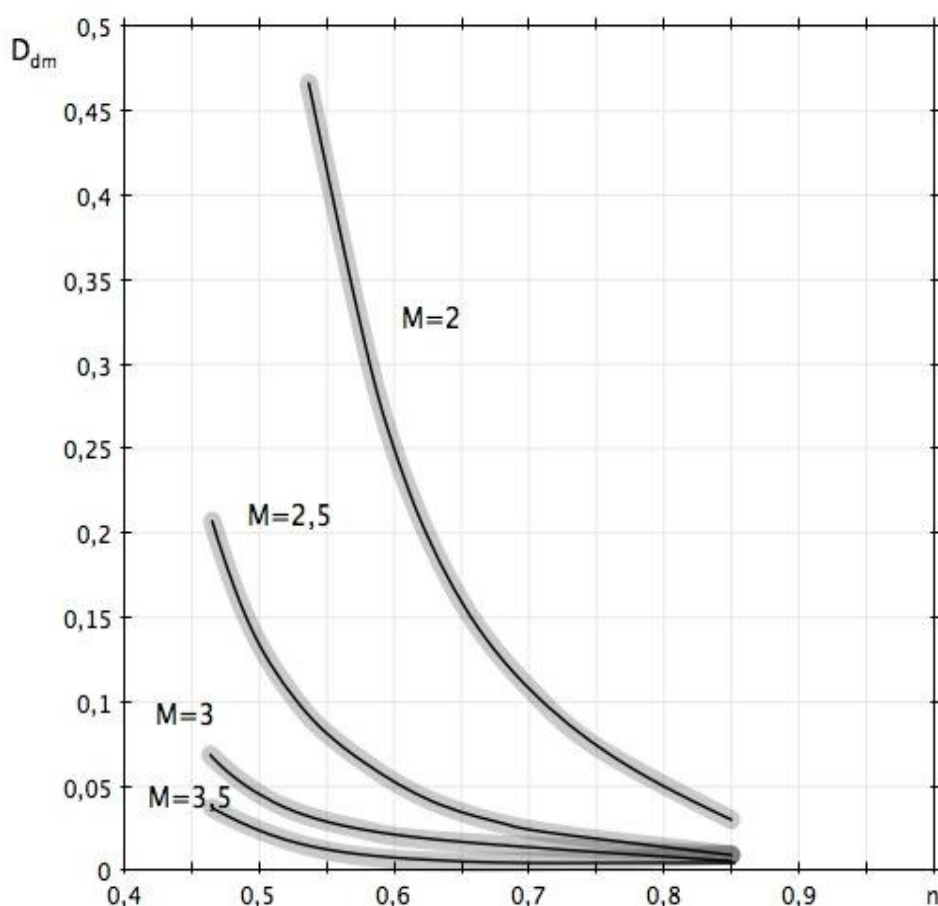


Рис. 9. Зависимость диаметра Диска Маха от числа Маха M и нерасчетности n в перерасширенной струе, истекающей из профилированного сопла

Известно, что, чем больше угол полураствора сопла, тем сильнее отличается течение на срезе сопла от модели течения от источника, поэтому дополнительно были выполнены проверочные численные расчеты с помощью sst-модели турбулентности без разрешения пограничного слоя на стенках сопла. Экспериментальные данные должны при этом располагаться между двумя расчетными кривыми. Расчеты (рис. 10) показали очень хорошее качественное совпадение результатов.

Для того чтобы корректно проверить соответствие методики расчета экспериментальным данным необходимо свести в эксперименте влияние вязких эффектов, искажающих картину течения в окрестности кромки сопла к минимуму. Этого можно добиться на установке, в которой струя, истекает из звукового сопла с донным экраном. Внутри такого сопла пограничный слой невелик, а эжекционное течение у его кромки отсутствует. Подобный эксперимент был проведен в Днепропетровском Университете [19]. На рис.11 и 12 представлены зависимости удаления L от среза сопла характерных сечений струи, а также значение диаметра D соответствующего элемента первой бочки струи от автомодельного параметра струи. Символами показаны экспериментальные данные, сплошными – расчетные.

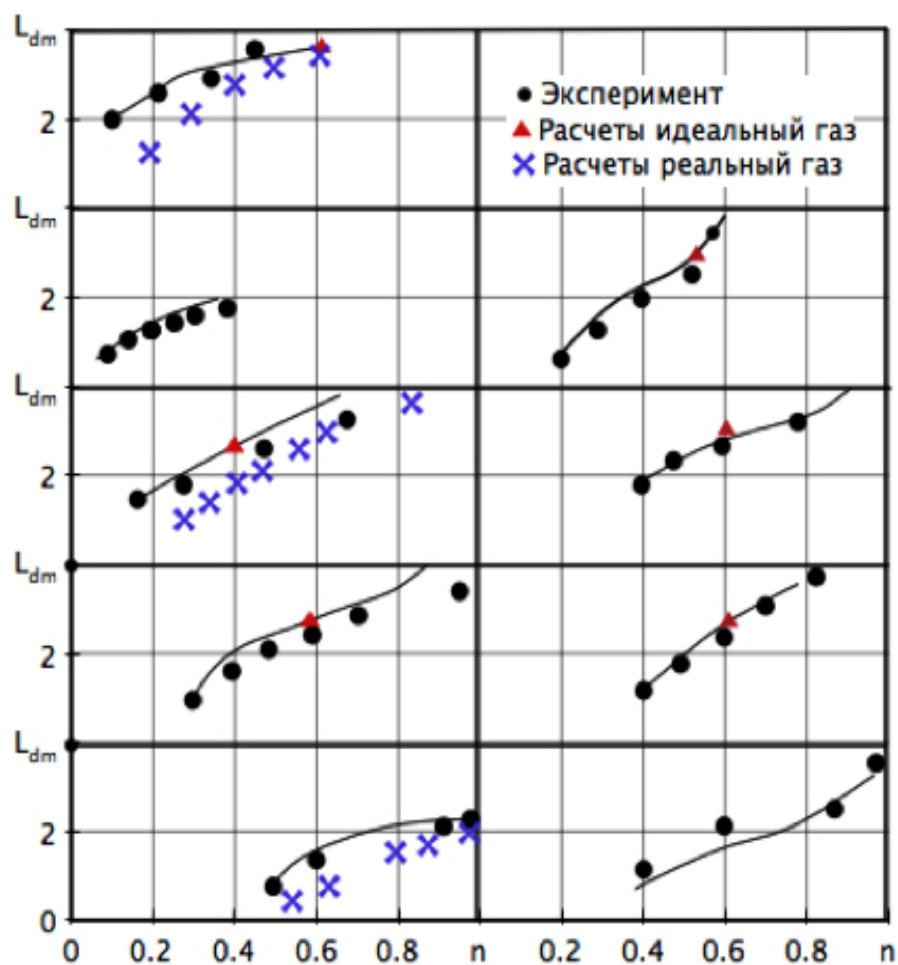


Рис. 10. Расчеты удаления Диска Маха в струях, истекающих из конического сопла

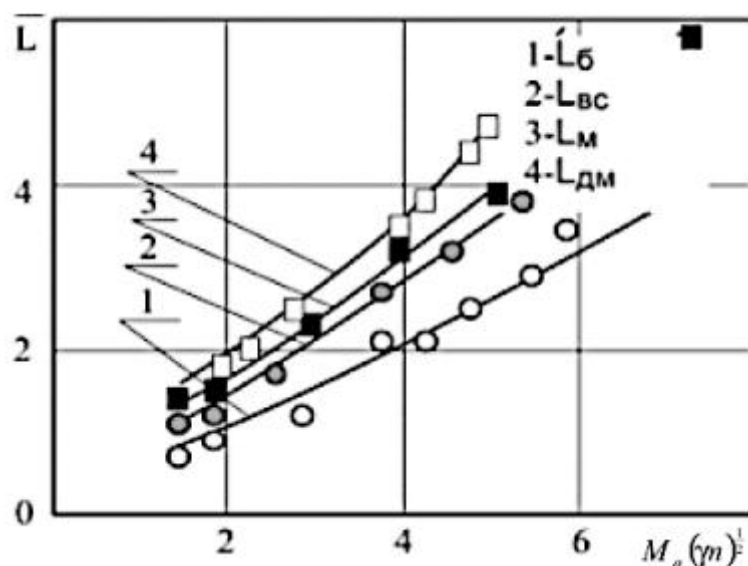


Рис. 11. Сравнение удаления основных сечений первой бочки недорасширенной струи, полученных расчетным путем, с данными эксперимента [15]

L_b -расстояние от среза сопла до точки пересечения отраженного скачка с границей струи,

L_{bc} -расстояние от среза сопла до сечения с максимальным диаметром висячего скачка,

L_m – расстояние от среза сопла до сечения с максимальным диаметром границы струи,

L_{dm} – расстояние от среза сопла до махового диска, n – нерасчетность струи

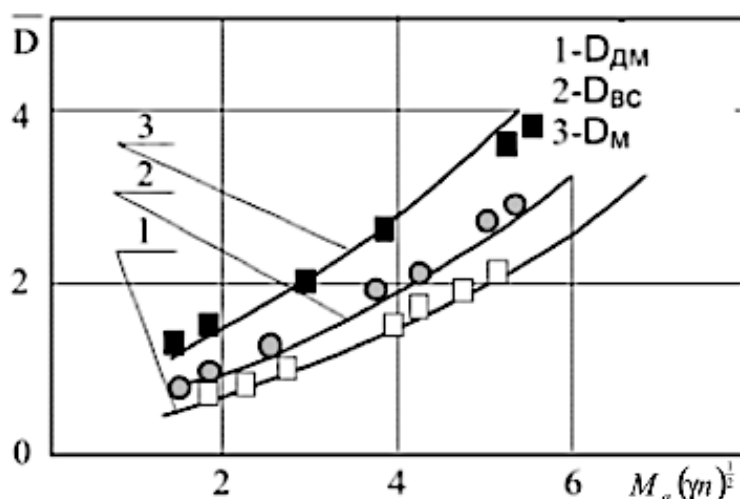


Рис. 12. Сравнение результатов расчета диаметра основных элементов первой бочки струи с экспериментом [15]

D_{BC} – максимальный диаметр висячего скачка, D_M – максимальный диаметр границы струи, D_{DM} – диаметр маховского диска

Тройная точка на висячем скачке выбиралась в сечении, в котором интенсивность висячего скачка равнялась J_0 . Наблюдается не только качественное, но и удовлетворительное количественное совпадение с экспериментом.

Заключение

Кратко рассмотрены тройные конфигурации ударных волн. Показано, что диск Маха в струе является частным случаем тройных конфигураций. Перечислены наиболее известные полуэмпирические модели, позволяющие приближенно вычислять диаметр и удаление диска Маха от среза сопла. Рассмотрена стационарная маховская конфигурация как модель диска Маха в струе. Выполнены проверочные расчеты и сравнение с результатами натурального и численного эксперимента.

Выводы

Модель стационарной маховской конфигурации с удовлетворительной для практики точностью позволяет предсказывать положение диска Маха в сверхзвуковой струе. Располагая при расчете диск Маха в точке висячего скачка, в которой его интенсивность $J=J_0$, можно определить диаметр Диска Маха и его удаление от среза сопла. Результаты расчетов показали хорошее соответствие с экспериментом.

При числах Маха $M < M_T$ стационарное решение для отражения скачка уплотнения от оси струи отсутствует. Предположение, что при числах Маха $M_T < M < M_{OR}$ диск Маха образуется в точке висячего скачка, в которой его интенсивность равна J_R , опровергается теорией и экспериментом.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Соглашение № 14.575.21.0057).

Список литературы

1. Усков В.Н. и др. Интерференция стационарных газодинамических разрывов. – Новосибирск: ВО «Наука», 1995. 180 с.

2. Мельников Д.А. Отражение скачков уплотнения от оси симметрии. «Механика и машиностроение», 1962, №3. Изд. АН СССР.
3. Авдеевский В.С., Ашратов Э.А., Иванов А.В., Пирумов У.Г. Газодинамика сверхзвуковых неизобарических струй. – М.: Машиностроение, 1989. – 320 с.
4. Abbett M.J., Mach Disk in Underexpanded Exhaust Plumes, AIAA Journal, Vol.9, March 1971, pp.512-514.
5. Dash S.M. Thorpe R.D. Shock – Capturing Model of One- and Two- Phase Supersonic Exhaust Flow. – AIAA J., vol. 19, July 1981, pp. 842-851.
6. Dash S.M. Seiner J.M., Wolf D.E. Analysis of Turbulent underexpanded Jets. Part. 1: Parabolized Navier Stokes Model, SCIPVIS. – AIAA J., vol. 23, 23, April 1985, pp. 505-514.
7. Dash S.M., Wolf D.E. Interactiv Phenomen in Supersonic Jet Mixin Problems, Part. 1. – AIAA J., May 1984, pp. 905-913.
8. Dash S.M., Sinha N. Noninteractive Cross – Flow integration Procedure for the Pressure – Split Analysis of two Dimensional, Subsonic Mixin Problems. – AIAA J., vol. 23, Jan. 1985, pp. 183-185.
9. Dash S.M., Sinha N., York B.J. Implicit/Explicit Analysis of Interactive Phenomena in Supersonic Chemically – Reaching Mixing and Boundary Layer Problems. – AIAA paper 8517, 17 July 1985.
10. Dash S.M. Seiner J.M., Wolf D.E. Analysis of Turbulent underexpanded Jets. Part. 2: Parabolized Navier Stokes Model, SCIPVIS. – AIAA J., vol. 23, 23, May 1985.
11. Dash S.M., Wolf D.E., Pergament H.S. A Chock-Capturing Model for Two – Phase, Chemically reaching Flow in Rocket Nozzles and Diffusers, – AIAA paper, 85-0.
12. Uskov V.N., Mostovykh. P. S. (2012). Differential Characteristics of shock wave and triple-shock-wave configuration. 20th International Shock Interaction Symposium, P. 211–214.
13. Silnikov M.V., Chernyshov M.V., Uskov V.N. Two-dimensional over-expanded jet flow parameters in supersonic nozzle lip vicinity. Acta Astronautica., 2014, Vol. 97, P. 38–41.
14. Uskov V.N., Chernyshov M.V. Differential Parameters of Incident Shock near the Nozzle Lip in the Overexpanded Jet. 18th International Shock Interaction Symposium., 2008, P. 109–112.
15. Uskov V.N., Mostovykh P.S. Interference of Stationary and Non-Stationary Shock Waves. Shock Waves., 2010. Vol. 20(No. 2), P. 119–129.
16. Булат П.В., Продан Н.В., Усков В. Н. Обоснование применения модели стационарной маховской конфигурации к расчету диска маха в сверхзвуковой струе. Журнал Фундаментальные Исследования., 2012, № 11(Ч. 1), С. 168–175.
17. Arnold N.I. Wave front evolution and equivariant Morse lemma. Comm. Pure Appl. Math., 1976, 29(6), 557-582.
18. Булат П.В., Засухин О.Н., Усков В.Н. Формирование струи при плавном запуске сопла Лаваля.// Ученые записки Санкт-Петербургского государственного университета. Серия математических наук. «Газодинамика и теплообмен». Выпуск 10. Течения газов в каналах и струях. СПб, Изд-во СПУ, 1993 г. – с. 1-22.
17. Беляев Н.М., Картешкин В.А. Исследование параметров звуковой недорасширенной струи холодного газа. Днепропетровск. ДГУ, 1982, 14 с.

УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС КООРДИНАТНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОЛЛИМАТОРНОГО МЕТОДА АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Бут Р.О.

студент кафедры ЭИУ1-КФ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Россия, г. Калуга

Драч В.Е.

доцент кафедры ЭИУ1-КФ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н., доцент,
Россия, г. Калуга

Чухраев И.В.

заведующий кафедрой ЭИУ2-КФ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана,
к.т.н., доцент,
Россия, г. Калуга

Предложена структура и концепция построения управляющего комплекса координатно-поворотного устройства, предназначенного для реализации коллиматорного метода измерения диаграмм направленности антенных устройств. Описанный комплекс позволяет автоматизировать процесс измерений и достичь необходимой точности позиционирования антенны относительно зеркала коллиматора.

Ключевые слова: антенна, антенные измерения, коллиматор, управляющий комплекс.

До недавнего времени измерение параметров антенных устройств в основном проводилось в дальней зоне [1]. При этом необходимое расстояние между испытываемой антенной и вспомогательным источником определяется рабочей длиной волны и размерами их апертур и составляет несколько километров. Однако традиционные методы дальней зоны имеют ряд существенных недостатков и ограничений. Эти недостатки, прежде всего, обусловлены влиянием различных предметов на подстилающей поверхности полигона и влиянием помех на измерительную аппаратуру [1].

Для преодоления технических трудностей и устранения недостатков методов дальней зоны в настоящее время широко используются измерения в ближней зоне антенных устройств [4].

Одним из наиболее широко применяемых и прогрессивных методов измерения диаграмм направленности (ДН) антенн является коллиматорный метод [3]. Необходимым условием получения достоверных результатов данным методом является точное позиционирование антенны относительно зеркала коллиматора. Для современных антенных устройств это особенно критично, в частности, для фазированных антенных решеток, у которых главный лепесток ДН на больших частотах может быть настолько узким, что точность координат выезда на нужную точку может достигать долей градуса. В целях решения этой проблемы, а также автоматизации процесса измерений, был

разработан управляющий комплекс (УК) координатно-поворотного устройства (КПУ) (рисунок).



Рис. Структурная схема управляющего комплекса координатно-поворотным устройством

УК предназначен для управления КПУ коллиматорного измерительного стенда. Он осуществляет перемещение КПУ вместе с установленной на него испытуемой антенной по азимуту и углу места. Конструктивно комплекс состоит из ПЭВМ, блока управления двигателями, содержащего две платы AWD10-24, пульта ручного управления, трех импульсных источников постоянного тока PSH-3620 фирмы GW Instek, адаптера сопряжения, двух коллекторных двигателей постоянного тока с энкодерами, концевых выключателей с граничным датчиком и блока аварийной остановки. ПЭВМ посредством интерфейсов RS-422 и RS-485, с помощью плат преобразования MOXACP 132, подключенных на шину PCI, управляет блоками AWD10-24 и подачей напряжения с источников PSH-3620. С блоков AWD10-24 поступает питающее напряжение на управляющие обмотки двигателей, которые и приводят в движение КПУ.

Обратная связь реализована с помощью высокоточных энкодеров и адаптера сопряжения, который в свою очередь обрабатывает эти импульсы и выдает угловые координаты на ПЭВМ через пату цифрового ввода/вывода Advantech PCI-1751. Кроме того, через адаптер сопряжения сигнал с энкодера, деленный на некоторые целое число, поступает в блоки AWD10-24, что необходимо для стабилизации скорости вращения двигателей. С помощью схемотехнического моделирования [2] удалось убедиться в работоспособности УК.

Пульт ручного управления КПУ необходим для реализации возможности ручного изменения скорости и направления вращения двигателей. Для этого на ПЭВМ программой предусмотрен специальный ручной режим управления. Также на пульте реализовано независимое управление аварийной остановкой двигателей с помощью блока аварийной остановки путем разрыва в цепи питания их обмоток возбуждения.

Во избежание заезда КПУ за максимально допустимый угол поворота, реализована система концевых выключателей и граничный датчик, подключенная к блоку управления двигателями.

К преимуществам предложенного комплекса можно отнести:

- Достаточная точность позиционирования КПУ для измерения ДН современных антенн.
- Возможность автоматического и ручного управления системой.
- Выдача на ПЭВМ параметров двигателя и угла поворота (обратная связь по энкодерам).
- Автоматическое удерживание КПУ на заданной координате (если антенное устройство имеет большую массу и/или смещенный центр масс).
- Защита от КЗ любого провода двигателя на питание или на землю
- Независимая система концевых выключателей и аварийной остановки.

Список литературы

1. Бахрах Л. Д., Каменский С. Д., Курочкин А. П. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне. Л.: Наука, 1985. 272 с.
2. Кузнецов В. В. Симулятор электронных схем с открытым исходным кодом QUCS: основные возможности и основы моделирования // Компоненты и технологии. 2015. Т. 3. № 164. С. 114-120.
3. Николаев П.В. Испытание антенных систем коллиматорным методом с целью повышения качества и эффективности данных испытаний // Радиопромышленность. 2013. № 3. С. 77-85.
4. Самбуров Н.В., Рыбаков Д.Ю., Иванов Н.Г. Компактный антенный полигон в условиях геометрически ограниченных помещений // Электромагнитные волны и электронные системы. 2014. Т. 19. № 10. С. 25-32.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ МОДЕЛЕЙ ОДЕЖДЫ

Вилкова М.Р.

старший преподаватель кафедры КТШИ Нижегородского государственного
инженерно-экономического университета,
Россия, г. Нижний Новгород

В статье рассматривается применение макетного метода для проектирования новых моделей одежды. Дается определение формы, методов формообразования: муляжного и метода наколки. Рассмотрены варианты использования различных материалов для изготовления макета, их положительные и отрицательные свойства. Автор делится практическим опытом по использованию материала «спанбонд» в учебном процессе.

Ключевые слова: форма одежды, формообразование, метод наколки, муляж, макет, конструктивные линии, нетканые материалы, «спанбонд».

Творческий процесс – это достижение единства формы и содержания. Проектирование дает полезный эффект в том случае, если мышление дизайнера развито в профессиональном направлении и сам дизайнер обладает

следующими качествами: способностью увидеть и четко сформулировать задачу; способностью бегло выработать достаточное количество идей за ограниченное время; умением отыскивать оригинальные решения; умением быстро придумывать самые необычные решения заданной проблемы.

А если у дизайнера нет еще достаточного опыта и умений?

Начинающим дизайнерам, трудно идентифицировать фигуру человека и развертку ее на плоскости в виде модельной конструкции, а значит принять правильное решение по гармонизации отдельных элементов костюма: его длины, пропорциональных соотношений его частей, объема и формы отдельных элементов. Начинаящий конструктор напротив, получив базовую силуэтную основу, затрудняется с выбором контурных и декоративных решений отдельных элементов конструкции.

На помощь приходит макет. Макетирование костюма позволяет более наглядно, образно выявить важные стороны проектируемой модели, такие как форма, объём; даёт реальное и точное представление о покрое и конструктивных особенностях модели. Студенты отмечают, что значительно легче психологически «резать» макет, чем основной (часто дорогостоящий) материал. Они с увлечением работают с макетами, изменяя силуэт, форму модели, меняя местоположение и размеры декоративных линий и деталей, уточняя их конфигурацию, добиваясь чистоты линий.

Макет позволяет понять природу кроя, изменение геометрии его линий в зависимости от формы фигуры человека, как бы видеть ее развертку на плоскости и подготовить себя к восприятию искусства конструкторского мастерства [2, с. 38].

Конструктивное решение формы с проверкой её в макете позволяет получить очень точные шаблоны для раскроя новых моделей и внедрении их в производство.

Для создания новой формы используется условная ткань, которая должна быть четкой структуры, достаточно аппретированной, чтобы накладка не перекашивалась в разных направлениях. Нити основы и нити утка должны хорошо просматриваться. В практике художников-модельеров ею является суровая бязь с полотняным переплетением. Основное требование накладки – соответствие вертикали направлению нитей основы макетной ткани и соответствие горизонталей направлению нитей утка макетной ткани [1, с. 149]. А вот для выполнения макета при конструктивном способе проектирования формы одежды с успехом может быть использован нетканый материал «спанбонд» (плотность 40-60 г/м).

Ранее предпринимались попытки использовать различные нетканые материалы для выполнения макета швейного изделия в учебных целях. В инженерной школе проектирования (г. Санкт-Петербург), в Ивановском текстильном институте в разные годы для этих целей применялась пленка ПВХ, которую сшивали или сваривали, предлагалось использование различных инструментов для точечного сваривания деталей конструкций. Наряду с явными плюсами использования этого материала, были и существенные минусы – это растяжимость пленки, потеря первоначальной формы, а значит необъек-

тивность конечного результата, необходимость наличия определенного опыта для безопасной работы с горячими инструментами. Сложность возникала и с рисованием линий на поверхности.

Опыт использования нетканого материала «спанбонд» для изготовления макетов и поиска формы одежды может быть интересен для учебных заведений, готовящих специалистов индустрии моды, поэтому остановимся на главных его преимуществах относительно натуральных тканей:

- 1) легко кроится, не осыпается;
- 2) легко шьется вручную или на швейной машине;
- 3) материал в течение длительного времени сохраняет форму после удаления нагрузки, вызвавшей местную деформацию;
- 4) прозрачен;
- 5) на поверхности легко наносить рисунки любыми инструментами (ручки, карандаши, маркеры, мел и т.д.);
- 6) низкая стоимость;
- 7) устойчив к воздействию влаги;
- 8) «спанбонд» не имеет свойства образовывать токсичные соединения в воздушной среде.

Спанбонд давно применяют для изготовления одноразовой одежды, в том числе медицинской, мебельном и сельскохозяйственном производстве, а вот для изготовления макетов швейных изделий в учебном процессе широко используется только на Факультете технологии и дизайна НГИЭУ (рисунок).

Главное преимущество «спанбонда» – его прозрачность. Это свойство позволяет копировать контуры деталей с чертежа конструкции модели, сразу добавлять технологические припуски и раскраивать детали без использования бумаги (без создания «выкройки»).

Главный и единственный недостаток – макет, выполненный из спанбонда, не позволяет учесть пластические свойства материала (шелка, трикотажа). А значит спанбонд не может быть рекомендован для «лепки» пластичных и драпированных форм. Но для решения конструкторских задач по проектированию новых моделей одежды, для проверки сложных конструкций он незаменим.

В макетном методе в равной степени нуждаются и дизайнер костюма, и конструктор. Дизайнеру он дает возможность с эскиза перевести идею в объемную форму и довести ее до совершенства. Конструктору он помогает отточить объемную форму и внести поправки в плоскостное изображение – чертеж.



Рис. Макеты моделей из «спанбонда»

Список литературы

1. Гусейнов Г. М., Ермилова В. В., Ермилова Д. Ю. Композиция костюма: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 432 с.
2. Матузова Е. М., Соколова Р. И., Гончарук Н. С. Мода и крой. Ч.1- М. : Институт индустрии моды. 1999. – 192с.

РАСЧЕТ РОТОРА СИНХРОННОЙ РЕАКТИВНОЙ МАШИНЫ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Виноградов К.М.

доцент кафедры «Электромеханика» филиала ФОБОУ ВПО
«Южно-Уральский государственный университет» (НИУ) в г. Усть-Катаве,
канд. техн. наук,
Россия, г. Усть-Катав

В статье рассмотрен способ расчета массивного ротора синхронной реактивной машины независимого возбуждения. Показано, что явнополюсный ротор синхронной машины независимого возбуждения, не имеет обмотки возбуждения. Вследствие чего отсутствуют магнитные потоки рассеяния, которые в классической машине учитываются при расчете магнитодвижущей силы.

Ключевые слова: синхронная реактивная машина, пассивный ротор.

В синхронной реактивной машине независимого возбуждения ротор делается явнополюсным и монолитным. Правильный выбор воздушного зазора во многом определяет удельные показатели машины и энергоустановки

в целом. Чем меньше воздушный зазор, тем меньше его магнитное сопротивление и магнитное напряжение, составляющее основную часть МДС магнитной цепи всей машины. Поэтому уменьшение зазора приводит к соответствующему увеличению индукции в зазоре. Но чрезмерное уменьшение δ приводит к возрастанию амплитуды пульсаций индукции в воздушном зазоре и, как следствие этого, к увеличению поверхностных и пульсационных потерь. В синхронной реактивной машине независимого возбуждения средней мощности величину воздушного зазора целесообразно выбирать по аналогии с асинхронными двигателями краново-металлургической серии [5].

Расчет синхронной реактивной машины независимого возбуждения включает в себя на разных этапах методы, используемые при проектировании серийных синхронных, асинхронных машин и машин постоянного тока. Тем не менее, на отдельных этапах приходится учитывать конструктивные и функциональные особенности синхронной реактивной машины независимого возбуждения.

При выборе главных геометрических размеров и электромагнитных нагрузок необходимо учитывать то, что скорость вращения реактивной машины ограничена лишь механической прочностью ротора, что, в свою очередь, позволяет существенно уменьшить габарит машины [1,2]. Задача выбора оптимальной величины λ является сложной и многокритериальной, которую необходимо рассматривать в комплексе с конкретными технологическими требованиями. Между тем, учитывая чрезвычайно высокую механическую жёсткость и прочность ротора, можно рекомендовать специальную удлиненную форму ротора. Это целесообразно там, где имеются ограничения по объему, когда ротор можно выполнить значительно длиннее обычного, сохранив эквивалентную механическую мощность на валу или электромагнитный момент. В таких специальных случаях λ может достигать нескольких десятков [3]. В генераторном режиме СРМНВ число фаз якоря также будет влиять на форму выпрямленного напряжения. Увеличение числа фаз снижает пульсации выпрямленного напряжения. Кроме того, число фаз удобно выбирать кратным трем, т.к. в этом случае можно использовать стандартные вентиляционные преобразователи.

Отметим, что расчет магнитодвижущей силы полюса синхронной реактивной машины независимого возбуждения отличается от расчета полюса синхронной явнополюсной машины с активным ротором тем, что в СРМНВ отсутствуют потоки рассеяния обмотки ротора из-за отсутствия последней [4].

На рисунке показан поперечный разрез ротора для машины мощностью 150 кВт, на частоту вращения 10000 об/мин.

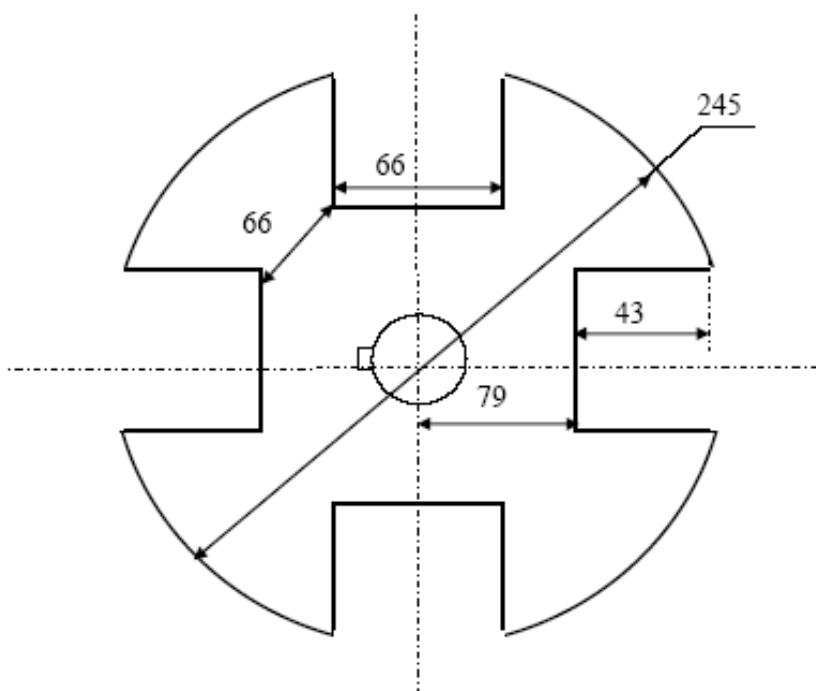


Рис. Пример четырех полюсного ротора

При нагрузке появляется поле реакции якоря, которое искривляет поле, созданное в воздушном зазоре обмоткой возбуждения. При этом физическая нейтраль смещается относительно геометрической на некоторый угол, поэтому намагничивающая составляющая реакции якоря действует на полюс, а размагничивающая – на межполюсный промежуток. Учет реакции якоря в синхронной реактивной машине независимого возбуждения можно сделать или как для машины постоянного тока, или как для синхронной машины.

После расчета ротора приступают к следующей задаче – оптимизации линейной плотности поверхностного тока, учитывая совместную работу синхронной реактивной машины независимого возбуждения с вентильным преобразователем [5]. Здесь необходимо учитывать и то, что данная машина принципиально работает не на синусоидальном токе. Форма тока статора имеет прямоугольный вид.

Список литературы

1. Кононенко, Е.В. Синхронные реактивные машины. – М.: Энергия, 1970.
2. Вольдек, А.И. Электрические машины: Учебник для вузов. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
3. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под ред. И.П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 757 с.
4. Электропривод с синхронным реактивным двигателем независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, Н.Д. Монюшко, М.А. Григорьев, Г.В. Караваев // Вестник ЮУрГУ. – 2001. – № 4 (04). – Серия «ЭНЕРГЕТИКА», Выпуск 1. – С. 70 – 76.
5. Усынин, Ю.С., Григорьев, М.А., Виноградов, К.М. Электроприводы и генераторы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Электричество. – 2007. – №3. – С. 21 – 26.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАЦМАЛЬНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ УЧАСТКОВ РАЗРЕЗОВ СКВАЖИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИС

Гавришenko В.С.

аспирант кафедры кибернетические системы
Тюменского государственного нефтегазового университета,
Россия, г. Тюмень

Королев М.С.

доцент кафедры разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторожде-
ний Тюменского государственного нефтегазового университета, канд. тех. наук,
Россия, г. Тюмень

Семухин М.В.

профессор кафедры кибернетические системы Тюменского государственного
нефтегазового университета, д-р тех. наук, профессор,
Россия, г. Тюмень

В статье для оценки фаций по проведенным методам ГИС будем использовать мо-
дификацию известного метода горной кластеризации, в частности случай, когда заранее
уже определено количество кластеров

Ключевые слова: пласт, скважина, фильтрационно-емкостные свойства пластов,
фация.

Исследование скважин и пластов включает в себя комплекс взаимосвя-
занных методов, отличающихся теоретической основой, топологией и техни-
кой измерения.

По данным этих исследований определяют следующие начальные па-
раметры:

1. Геометрические характеристики залежей.
2. Коллекторские и фильтрационно-емкостные свойства пластов (ФЕС).
3. Физико-химические свойства пластовых жидкостей и газов.
4. Гидро-термодинамические параметры пласта.

Для изучения этих параметров применяются геофизические, гидроди-
намические и лабораторные методы исследования.

Первая задача решается геофизическими, третья – лабораторными, а
вот вторая – всеми тремя методами исследований.

Лабораторные и геофизические методы определения ФЭС исторически
взаимосвязаны и характеризуют пласт в точке, где отобран керн, или участок,
непосредственно прилегающий к стволу скважины.

Гидродинамические методы исследования охватывают область филь-
трации данной скважины и выдают характеристики, усредненные на большей
площади.

При комплексном использовании эти методы дополняют друг друга и

позволяют определить исходные параметры, необходимые для подсчета запасов и проектирования пробной эксплуатации залежей нефти и газа.

В процессе промышленной разработки месторождений продолжается комплексное изучение и контроль геолого-физических характеристик пластов месторождений геофизическими, гидродинамическими, геохимическими, индикаторными и лабораторными методами исследований [1].

С помощью геофизических исследований (ГИС – КАРОТАЖ) осуществляется уточнение геологической модели в зоне расположения скважины.

Методы ГИС – КАРОТАЖ являются косвенными. Методической основой метода является установление аналитических петрофизических зависимостей «кern-геофизика» и обоснование возможностей перехода от геофизических характеристик к коллекторским свойствам пласта. Параметры пласта по ГИС в основном характеризуют призабойную зону.

Эффективность эксплуатации нефтяного месторождения во многом определяется достоверностью соответствия принятой при проектировании разработки геологической модели фактическому строению залежи. Недооценка фациальных условий и режимов осадконакопления существенно искажают геологические модели, снижая эффективность последующих проектных решений. Изучение влияния фациальных условий на петрофизические свойства пород -коллекторов, коэффициент подвижности нефти и, как следствие, коэффициент вытеснения нефти позволит более достоверно проводить геологическое моделирование месторождений. Обобщение опыта геологического моделирования нефтяных месторождений показывает, что не всегда в полной мере учтены фациальные особенности отложений.

Особенно учет фациальной изменчивости актуален для коллекторов карбонатного типа, представляющих собой сложнопостроенные и неоднородные геологические тела.

Для реальных сложных систем характерно одновременно разнородной информации:

- 1) точечных замеров и значений параметров;
- 2) допустимых интервалов их изменения;
- 3) статистических законов распределения для отдельных величин;
- 4) лингвистических критериев и ограничений, полученных от специалистов-экспертов и т.д.

Наличие в сложной многоуровневой иерархической системе управления одновременно различных видов неопределенности делает необходимым использование для принятия решений теории нечетких множеств, которая позволяет адекватно учесть имеющиеся виды неопределенности [2, 3, 4].

Соответственно и вся информация о режимах функционирования подсистем, областях допустимости и эффективности, целевых функциях, предпочтительности одних режимов работы перед другими, о риске работы на каждом из режимов для подсистем и т.д. должна быть преобразована к единой форме и представлена в виде функций принадлежности. Такой подход

позволяет свести воедино всю имеющуюся неоднородную информацию: детерминированную, статистическую, лингвистическую и интервальную.

Для оценки фаций по проведенным методам ГИС будем использовать модификацию известного метода горной кластеризации, в частности случай, когда заранее уже определено количество кластеров (фаций по результатам исследований керна).

Нечеткие методы кластеризации позволяют одному и тому же объекту принадлежать одновременно нескольким (или даже всем) кластерам, но с различной степенью. Нечеткая кластеризация во многих ситуациях более "естественна", чем четкая, например, для объектов, расположенных на границе кластеров.

На первом шаге горной кластеризации определяют точки, которые могут быть центрами кластеров. На втором шаге для каждой такой точки рассчитывается значение потенциала, показывающего возможность формирования кластера в ее окрестности. Чем плотнее расположены объекты в окрестности потенциального центра кластера, тем выше значение его потенциала. Также можно получить условные радиусы кластеров после выполнения алгоритма кластеризации.

Исходные данные представлены в виде упорядоченных кортежей значений $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ по проведенным методам ГИС.

В случае, когда объекты кластеризации заданы двумя признаками ($n=2$), графическое изображение распределения потенциала будет представлять собой поверхность, напоминающую горный рельеф. Отсюда и название – горный метод кластеризации.

На первом шаге в обучающей выборке у нас уже определены кластеры (фации) и проведена группировка значений методов ГИС x_{ij} внутри каждого из них.

Далее для каждого кластера k вычислим среднее значение $\bar{x}_i^k$ и меру разброса по каждому i методу ГИС:

$$\sigma^2(\bar{x}_i^k) = \frac{1}{N_{x_i}(k)} \sum_j (x_{ij}(k) - \bar{x}_i^k)^2,$$

где $N_{x_i}(k)$ – число элементов x_{ij} по методу i , попавших в кластер с номером k .

Таким образом, принимая экспоненциальную форму представлений для функций принадлежности получим, что каждый набор данных x_i по i -му методу ГИС представлен своими K средними значениями с функцией принадлежности:

$$\mu_k(x_i) = \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x_i - \bar{x}_i^k)^2}{\sigma^2(\bar{x}_i^k)}\right),$$

характеризующейся параметрами центра $\bar{x}_i^k$ и разброса $\sigma(\bar{x}_i^k)$.

Если рассматриваемый признак уже характеризуется частотной гистограммой $f_k(x_i)$ для данного кластера, то вместо потенциальной функции

$\mu_k(x_i)$ можно использовать нормализованную гистограмму $f_k(x_i)$, предварительно разделив все частоты на их максимальное значение.

Программирование этого способа не вызовет затруднений, если количество интервалов гистограмм фиксированное или язык программирования позволяет работать с массивами переменной длины.

В противном случае нужно будет заново перестроить гистограммы с фиксированным числом интервалов. При этом длину интервала h следует выбирать как рекомендуется в статистике, чтобы построенный ряд не был громоздким, но в то же время позволял выявлять характерные изменения случайной величины. Для вычисления h рекомендуется использовать следующую формулу:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3.222 \lg n},$$

где $x_{\max}, x_{\min}$ – наибольшее и наименьшее значения случайной величины. Если окажется, что h – дробное число, то за длину интервала следует принять либо ближайшую простую дробь, либо ближайшую целую величину. После нахождения частных интервалов определяется, сколько значений случайной величины попало в каждый конкретный интервал.

Далее все идет дальше по алгоритму.

Потенциальные функции для каждого кластера (фаии) задается K информационными гранулами с функциями принадлежности $\mu_k(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sqrt[n]{\mu_k(x_1)\mu_k(x_2)\dots\mu_k(x_n)}$, которые и используются в дальнейшем при прогнозировании значений фаций для проверочной последовательности или по новым значениям методов ГИС.

Пусть у нас имеется новый кортеж значений по рассматриваемым методам ГИС – $(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$. Вычисляем K значений потенциальных функций $\mu_k(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ для каждого кластера. Выбираем тот номер кластера (фаии), для которого указанная функция достигает максимального значения.

Для рассматриваемого интервала по отметкам методов ГИС для каждой строчки значений ГИС $(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ по максимуму значений $\mu_k(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ определяем номер кластера (фаии). Если в выбранном интервале идентифицировалось несколько фаций, то выбираем преобладающую по максимальному количеству.

Рассмотрим реализацию нечетких методов кластеризации по данным ГИС на Красноленинском нефтегазоконденсатном месторождении.

На предварительном этапе работ при подборе программного обеспечения для реализации выбранных алгоритмов было принято решение о написании скрипта в ПО Теклог, что позволяет достигнуть интеграции с созданной базой геолого-геофизических данных Красноленинского месторождения.

Скрипт не имеет пользовательского интерфейса и работает на базе заранее предустановленной обучающей выборке методов ГИС и скважин.

В качестве обучающей выборки скважин выбраны 5 скважин с максимальным выносом керна и оптимальной фациальной разбивкой по пластам ЮК2-9: 3665, 4037, 4045, 6594 и 30053г. В качестве обучающих методов ГИС выбраны ГК, БК, водородосодержащие.

Согласно алгоритму нечеткой кластеризации первым этапом используемого метода является обучение, которое состоит в вычислении в рамках фаций средних значений и дисперсий по каждому методу ГИС.

На рис. 1-6 отображено обучение программы на примере скважины 3665.

Сначала происходит выборка значений метода ГИС в границах фаций (Рис. 1, на примере ГК и фации № 1).

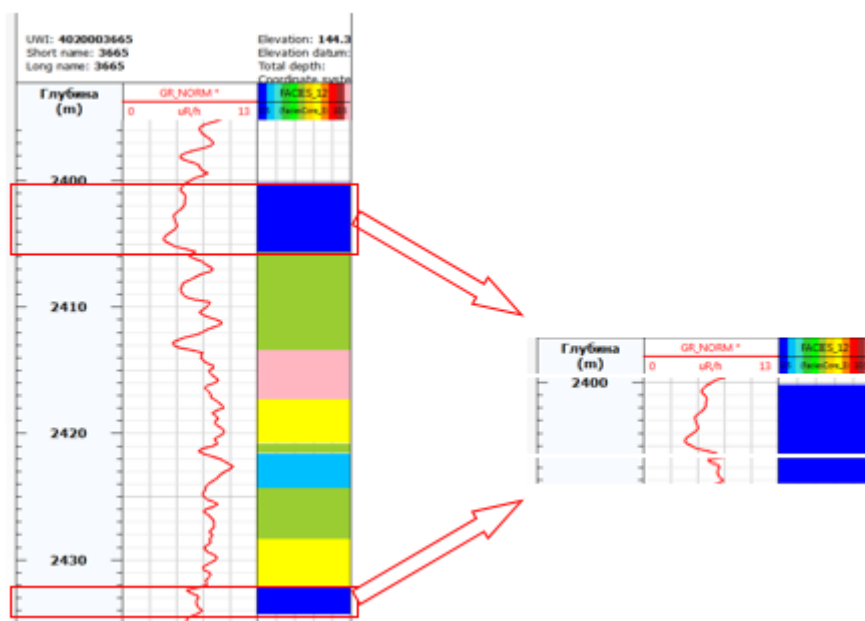


Рис. 1. Выборка значений ГК в границах фации №1 скв. 3665

По такому методу для каждой фации формируется своя выборка значений, в рамках каждой из которых происходит расчет параметров функции распределения (средние значения и дисперсия) (рис. 2, на примере ГК).

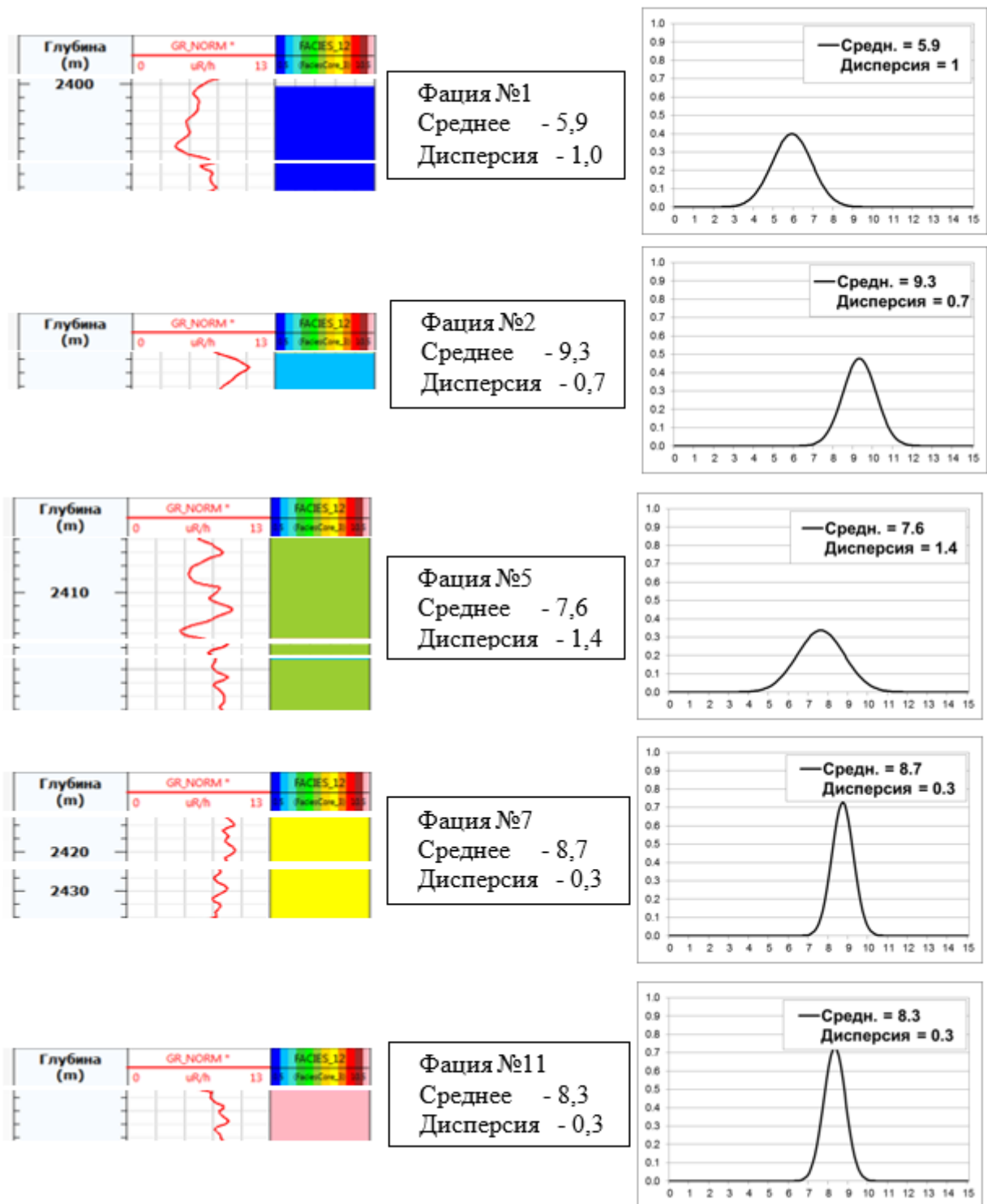


Рис. 2. Выборка значений ГК и параметры функции распределения в границах фаций скв. 3665

Выполняя такую операцию по методам ГИС ГК и БК, получаем набор функций распределения по каждому из методов (рис. 3).

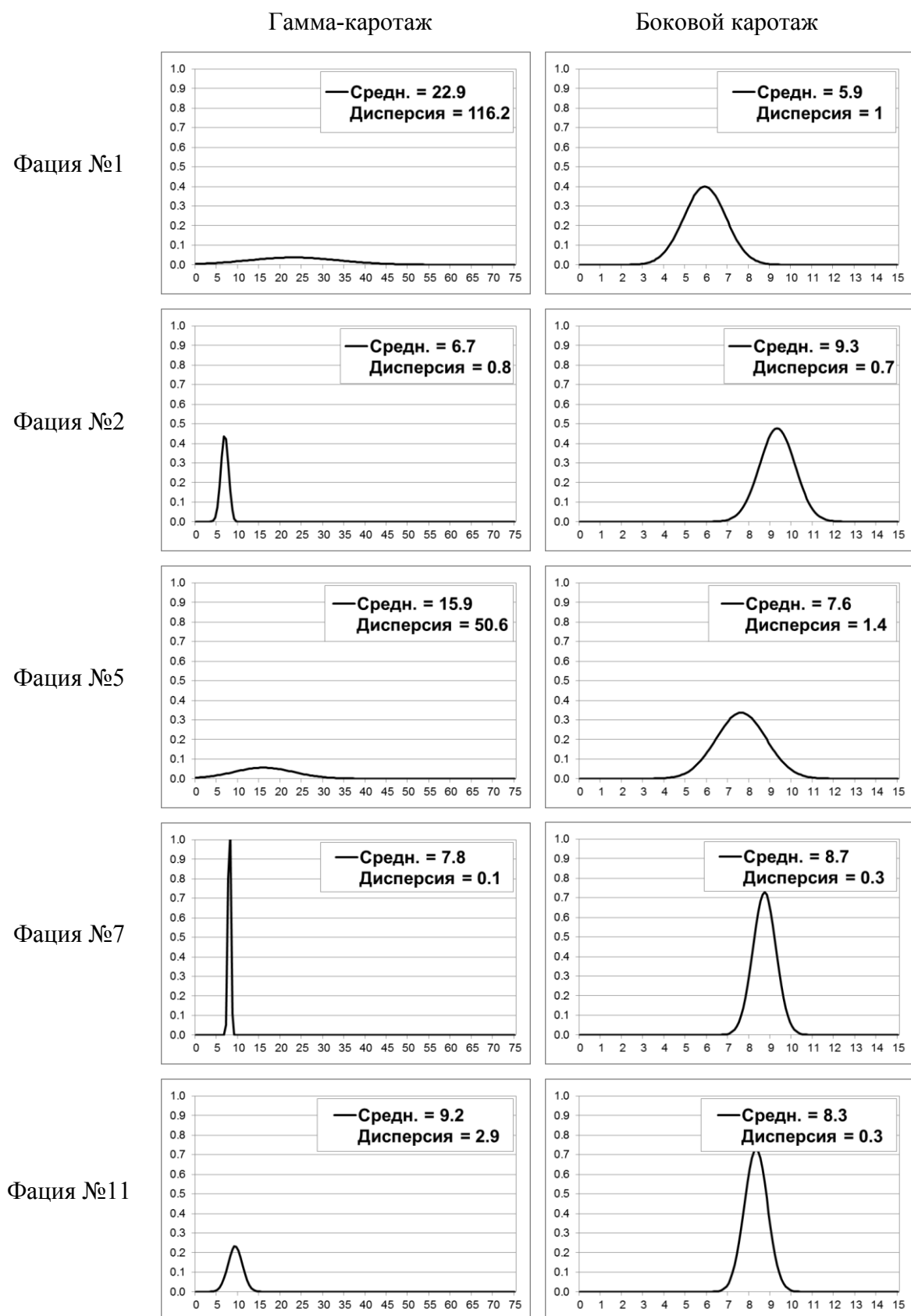


Рис. 3. Параметры функции распределения для ГК и БК
в границах фаций скв. 3665

Таким образом, результатом обучения являются параметры функций распределения значений ГИС в границах каждой из фаций.

Далее, на втором этапе идентификации фациальной принадлежности каждого из участков разреза тестируемых скважин на основе рассчитанных функций распределения производится расчет потенциалов. Потенциал присутствия фации $\mu(x_i)$ рассчитывается для каждой точки x_i для каждого k-ого метода ГИС по формуле:

$$\mu_k(x_i) = \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x_i - \bar{x}_i^k)^2}{\sigma^2(\bar{x}_i^k)}\right),$$

где используются ранее рассчитанные при обучении средние значения $\bar{x}_i^k$ и дисперсия $\sigma(\bar{x}_i^k)$ для каждого из методов ГИС.

Потенциал присутствия фации $\mu(x_i)$ для каждой точки x_i для всех методов ГИС пересчитывается по формуле $\mu_k(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sqrt[n]{\mu_k(x_1)\mu_k(x_2)\dots\mu_k(x_n)}$ (рис. 4, на примере фации №1).

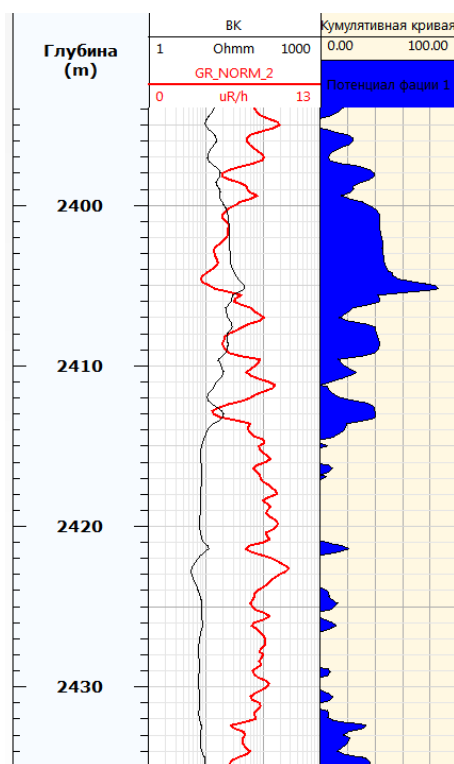


Рис. 4. Потенциал присутствия фации №1 по разрезу скв. 3665

Рассчитанные таким методом потенциалы для каждой из фаций нормируются на сумму потенциалов, в результате получается нормированная кумулятивная диаграмма, отражающая изменение потенциалов фаций в разрезе скважины (рис. 5).

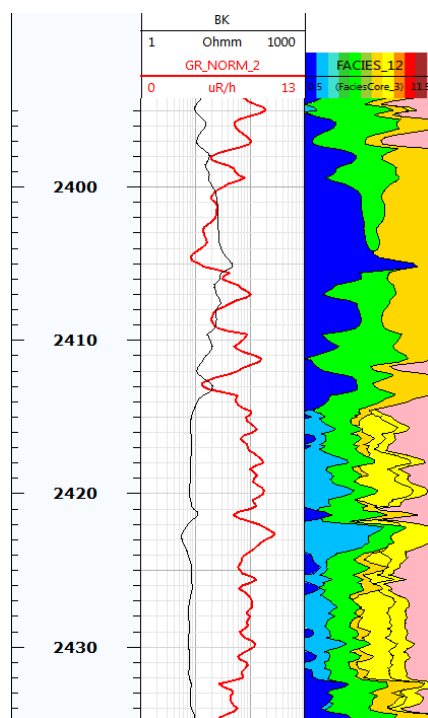


Рис. 5. Потенциалы присутствия фаций по разрезу скв. 3665

Далее каждому из интервалов разреза скважин присваивается та фациальная принадлежность, потенциал которой максимален в данном конкретном интервале (рис. 6).

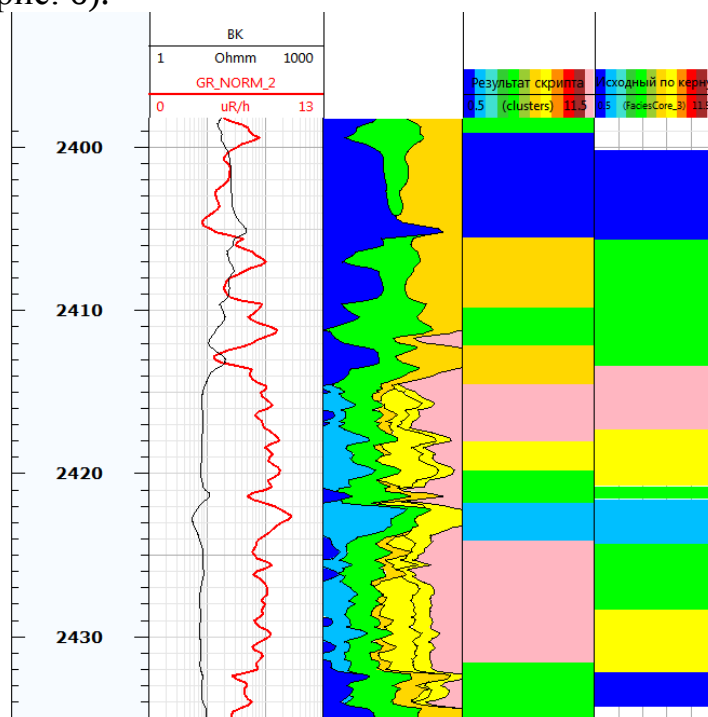


Рис. 6. Потенциалы присутствия фаций, зоны преобладания фаций по результатам скрипта и исходное распределение фаций по разрезу скв. 3665

Конечными результатами работы скрипта является распределение потенциалов присутствия фаций и зоны преобладания фаций по разрезу скважин, сохраненные в наборы данных ПО Techlog и доступные для сохранения в базу геолого-геофизических данных Красноленинского месторождения.

Таким образом существует возможность определения фациальной принадлежности отложений по результатам описания кернового материала Установление закономерностей фациальной изменчивости в пределах залежей для различных тектонических элементов Исследование фильтрационно-емкостных характеристик Коллектора в пределах выделенных фациальных зон.

Список литературы

1. Гилязов Р.М. Бурение нефтяных скважин с боковыми стволами. 2002. – 255 с. (6-7.13)
2. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений М: Мир, 1976, 165 с.
3. Кучин Б.Л., Алтунин А.Е. Управление системой газоснабжения в осложненных условиях эксплуатации – М: Недра 1987, 209 с.
4. Kickert W.Y.M. and oth. Application of Fuzzy Controller in a Warm Water Plant. «Automatica», v. 12,N4, 1976 p.301-308.

ВЫДЕЛЕНИЕ ИЕРАРХИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНТОЛОГИЙ

Извозчикова В.В.

доцент кафедры информационных систем и технологий Оренбургского
государственного университета, канд. техн. наук, доцент,
Россия, г. Оренбург

Черкасова А.А.

магистрант Оренбургского государственного университета,
Россия, г. Оренбург

В статье рассматривается вопрос построения модели предметной области прогнозирования развития предприятия на основе анализа концептуальной схемы, то есть с применением онтологии. Акцент сделан на методику выделения двух видов иерархий объектов предметной области: структурную и причинно-следственную, так как построение этих иерархий является одной из основных задач при создании базы знаний. При этом структурная иерархия строится методом типизации объектов, а причинно-следственная – методом выделения терминальных и предтерминальных вершин.

Ключевые слова: иерархия, объект, множество, онтология, отношения, атрибут, граф, базы знаний.

В настоящее время активно развиваются и внедряются в практику управления предприятиями современные модели представления и интеграции информационных ресурсов. Важнейшим элементом современных информационных технологий являются онтологии, которые позволяют производить автоматизированную обработку семантики информации, с целью её эффективного использования (представления, преобразования, поиска).

При формализации некоторой предметной области с помощью онтоло-

гий следует выделить иерархии трех видов: структурную, причинно-следственную и функциональную, причем построение иерархий первых двух видов является основной задачей при создания базы знаний [2, с. 253]. На основе выявления иерархий первых двух видов определяется структура предметной области, отражающая структурную иерархию знаний экспертов по прогнозированию развития предприятия, которые называются поверхностными.

В структуре предметной области выделим две составные части: структуру объектов предметной области и структуру отношений между атрибутами объектов, представив ее таким образом парой $\langle C_{об}, R_{dep} \rangle$,

где $C_{об}$ - структуры объектов,

R_{dep} - отношение «зависеть от».

Структурой объекта $C_{об_i}$ будем называть отношение

$$C_{об_i} = \{o_i, \{a_j\}_n\}, n = \overline{1, k_0} \text{ при условии, что} \\ \forall (o \in O, a \in A) (o_i \times \{a_j\} \subseteq R_a),$$

где $\{a_j\}$ – множество атрибутов объекта o_i ;

k_0 – количество объектов предметной области.

R_a - отношение, интерпретируемое как «иметь атрибут»;

Структура объекта включает в себя имя объекта и множество имен его атрибутов. Для определения структуры объекта необходимо построить отношение $(o_i, \{a_j\})$, такое что $\forall (\langle o_i, a_j \rangle \in R_a, \langle o_k, a_i \rangle \notin R_a) (o_i = o_k)$.

То есть из множества R_a необходимо выбрать все элементы правых частей, для которых левые части совпадают, которые и образуют множество атрибутов объекта o_i .

Структуру объекта предлагается представлять в виде связанного ациклического ориентированного графа с двумя типа вершин: вершину, соответствующую имени объекта, и вершины, соответствующие именам атрибутов, где дуги направлены из вершины первого типа в вершины второго типа. В графе структуры предметной области можно выделить три типа особенных вершин, которые соответствуют постановкам задач предметной области, часть из них являются начальными вершинами графа; вершины, соответствующие фактам предметной области – концевые или терминальные вершины; и вершины, смежные только с терминальными вершинами – предтерминальные [1].

Для выделения предтерминальных вершин достаточно из множества R_a удалить все элементы, соответствующие терминальным вершинам. При удалении из графа структуры предметной области концевых вершин все предтерминальные вершины становятся терминальными. Повторяя эту

процедуру, пока $R_a \neq 0$, и выделяя каждый раз предтерминальные вершины, можно построить упорядоченное семейство множеств $T = \{Y_i\}$, $i = 1, \dots, K_t$ предтерминальных вершин, выделенных на каждом шаге, где K_t – количество шагов выделения предтерминальных вершин. Такое семейство множеств показывает порядок изменения значений атрибутов объектов предметной области при изменении исходных данных прогнозирования.

Элементы семейства T образуют причинно-следственную иерархию, которая позволяет построить модель поведения системы. Знание элементов множеств семейства T упрощает процесс создания модели предметной области, так как появляется возможность упорядочения процесса построения решающих правил.

Построенные таким образом два вида иерархий объектов предметной области, представляющие собой поверхностные знания, показывают как должны быть организованы знания в базе знаний экспертной системы по стратегическому управлению предприятием и прогнозированию его развития.

Список литературы

1. Извозчикова, В.В. Построение структуры предметной области на основе анализа концептуальной схемы / В.В. Извозчикова, И.В. Матвейкин // Программные продукты и системы. – 2010. – № 2. – С. 71-73.
2. Цаленко, Н.Ш. Моделирование семантики в базах данных / Н.Ш. Цаленко. – М.:Наука, 1989. –288 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ КОЛОДОК ГАЗОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА С ЩЕЛЕВЫМИ СОПЛАМИ

Ильина Т.Е.

аспирант кафедры ХМиНПЭ Университета ИТМО,
Россия, г. Санкт-Петербург

Булат М.П.

инженер ООО «ЦТТ «Кулон»,
Россия, г. Санкт-Петербург

Целью данной работы является исследование геометрии колодки с щелевыми соплами. Проведено исследование зависимости расстояния между соплами на грузоподъемность колодки при задании постоянного расхода на питателях. Исследовано влияние контура, замыкающего щелевые сопла, на грузоподъемность колодки в случае моделирования как полноохватного, так и сегментного газового подшипника. Показано, что при одном и том же расходе рабочего газа расположение сопел вдоль оси вращения является менее эффективным с точки зрения грузоподъемности. Исследования проводились путем численного моделирования течения в смазочном слое на основе расчета полной системы уравнений Навье-Стокса. Это позволило учесть возможные отрывные течения, которые могут наблюдаться на сверхкритических режимах работы подшипника, а также упростило сопряжение результатов расчета течений газа в распределительной системе подшипника,

где использовались уравнения Навье-Стокса для турбулентных течений, осредненные по Рейнольдсу, и результатов расчета ламинарного смазочного слоя.

Ключевые слова: газовый подшипник, газостатический подшипник, смазочный слой, несущая способность подшипника, уравнение Рэлея, геометрия опорной поверхности газового подшипника, щелевые сопла.

Введение

Подшипники скольжения, в которых в качестве рабочего тела используется газ называются подшипниками на газовой смазке. По принципу действия различают газостатические (подъёмная сила создаётся подаваемым внешним устройством под избыточным давлением воздухом), газодинамические (подъёмная сила создаётся за счёт взаимодействия движущихся частей вала и подшипника с вязким тонким слоем), а также гибридные (имеют место оба эффекта) подшипники [1].

Радиальные газостатические подшипники бывают цилиндрическими с охватом 360° , которые так же называют полноохватными, и сегментными, состоящими из 2 или более вкладышей (колодок) закрепленных в подшипнике.

Проблеме подшипников на газовой смазке посвящены фундаментальные труды Шейнберга [2], Константиnescу [3], Риппела [4], Грессема и Пауэлла [5]. Подробный исторический обзор работ, рассмотрен в работе Булата М.П., Булата П.В. [6].

Многолетние исследования показывают, что несущая способность газостатического подшипника зависит от расхода рабочего газа, толщины и формы поверхности смазочного слоя. В работе Рэлея [7] показано, что оптимальный смазочный слой для опоры, работающей на принципе нагнетания смазки под избыточным давлением, будет описан кусочно-непрерывной функцией с промежуточным изменением толщины слоя. Такому решению соответствует газостатическая опора с «карманом» (поднутрением).

Работа газостатического подшипника характеризуется наличием нестационарных процессов, которые могут возникать как в следствие быстрого вращения ротора [8], так и в следствие возникновения пульсаций давления в системе подачи [9, 10].

Возникающие турбулентное течение в системе подачи газа (рис. 1) обуславливает выбор в пользу метода расчета основанного на решении полных уравнений Навье-Стокса (вместо упрощенных уравнений газовой смазки Рейнольдса [11]), которые справедливы, как при расчете ламинарного течения газа в смазочном слое, так и при турбулентном течении жидкости в системе каналов для распределения рабочего газа по соплам. Расчете турбулентного течения в системе распределения газа проводится на основе осредненных уравнений Навье-Стокса, для связи между пульсационными и осредненными скоростями в турбулентном потоке используют модели турбулентности, которые основаны не на законах сохранения, а на более или менее простых физических гипотезах о характере процессов турбулентности.

Подробный анализ моделей турбулентности и границы их применимости приведены в работе [12].

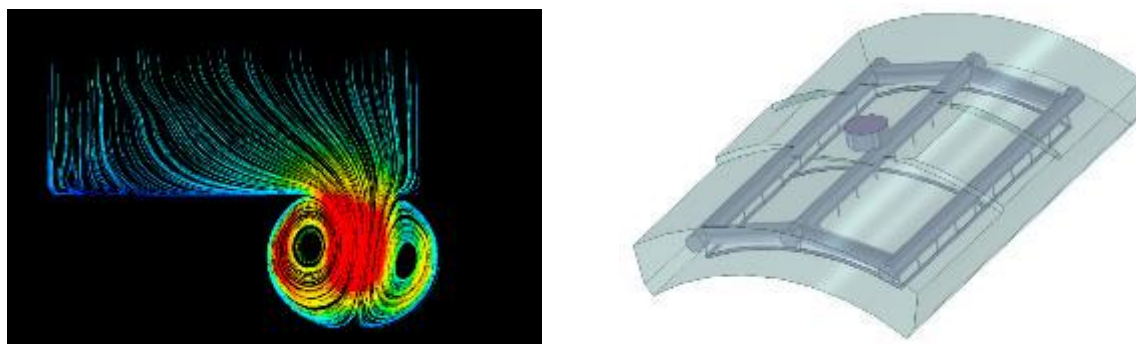


Рис. 1. Развитое турбулентное течение в системе подачи

1. МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Геометрия колодки

Для исследования выбрана колодка с 3-мя тангенциальными щелевыми соплами (рис. 2а). В конструкции этой колодки для обеспечения равной расходонапряженности рабочего тела по образующей вала сопла спроектированы с переменной по длине сопла высотой. Так же исследовалась аналогичная колодка с щелевыми соплами, замкнутыми в контур (края бороздок были объединены дополнительными каналами) рис. 2б. Толщина смазочного слоя в подшипнике задана – 30 мкм.

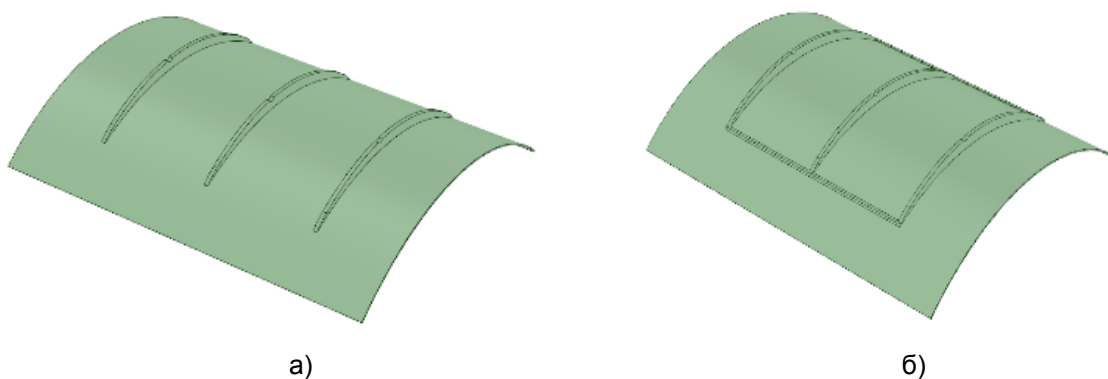


Рис. 2. Смазочный слой для колодки №3- с тангенциальными щелевыми соплами:
а) без контура; б) с контуром

1.2 Методика исследования

Обычно при расчетах газодинамических и газостатических подшипников используют уравнения Рейнольдса, основанные на ряде допущений, в результате не учитываются квадратичные члены инерции и только частично учитываются слагаемые от вязкости.

В газостатическом подшипнике реализуется два режима течения газа: ламинарное в смазочном слое и турбулентное во внутренних каналах колодки (рис.1). Прямое сопряжение решения, полученного с использованием уравнений Рейнольдса для смазочного слоя и решения для внутренних каналов, основанное на осредненных уравнениях Навье-Стокса вызывает определенные сложности. В настоящей работе используются полные уравнения На-

вье-Стокса. Расчет турбулентного течения производится с использованием модели $k-\varepsilon$ Realizable [13].

Течение в газовом подшипнике моделируется как течение сжимаемой среды. В качестве начальных условий задается начальное распределение скорости, удовлетворяющее уравнению неразрывности, а также начальные распределения температуры и давления.

В качестве граничных условий задается атмосферное давление на краях колодок подшипника, значение давления или расхода в питателях, значение температуры окружающей среды.

В расчетах используется метод конечных объемов, основанный на интегральных законах сохранения. Метод конечных объемов пригоден для дискретизации уравнений сохранения как на структурированных, так и на неструктурированных сетках с различной формой ячеек. Расчет производился в стационарной постановке. В работе используется схема дискретизации второго порядка. Сходимость решения определялась по установлению одинакового расхода воздуха на питателях и торцах колодок. С точки зрения дискретизации по времени использовалась неявная схема.

Все расчеты выполнены на неструктурированных тетраэдрических сетках, в которых выполнено сгущение к мелкомасштабным элементам геометрии.

По результатам расчетов формируются изолинии давлений и скоростей, а также определяется грузоподъемность и расход газа.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Проведено исследование влияния расстояния между бороздками на её грузоподъемность. На питателях сопел задано условие постоянного расхода 0,0125 кг/с.

В таблице представлены результаты расчетов колодок с разным расстоянием между соплами. В колодках изменялось расстояние между крайними соплами (значения в таблице приведены относительно общей длины колодки – L). Положение среднего сопла при расчетах не изменялось.

Расстояние между крайними соплами, в долях от длины колодки	0,5L	0,625L	0,6875L	0,75L
Грузоподъемность, Н	4 229	4 871	4 844	4 833

По результатам расчетов максимальной грузоподъемностью обладает колодка с расстоянием 0,625L. Уменьшение расстояния между соплами ведет к резкому снижению грузоподъемности. Наличие зон повышенного давления под крайними соплами препятствует растеканию газа подающегося в центральное сопло, при сближении сопел уменьшается полезная площадь повышенного давления, при слишком большом удалении их друг от друга (при близком расположении к торцам колодки) газ слишком быстро истекает в атмосферу.

Для колодок с расстоянием 0,75L и 0,5L были проведены расчеты при задании на питателях постоянного давления 0,4 МПа. Расчеты проведены для двух случаев: при истечении рабочего газа через все 4 торца колодки (сегментный подшипник) и при истечении рабочего газа через 2 торца колодки (полноохватный подшипник). Полученные в результате расчетов эпюры давлений в смазочном слое приведены на рис. 3

В результате расчетов определено, что колодка с расстоянием 0,5L в обоих случаях обладает большей грузоподъемностью, что определяется повышенным расходом рабочего газа. Сравнения результатов моделирования колодок для полноохватного и сегментного подшипника показывает, что при истечении газа через 4 торца увеличивается расход на 25-33%, грузоподъемность при этом падает на 30-40%.

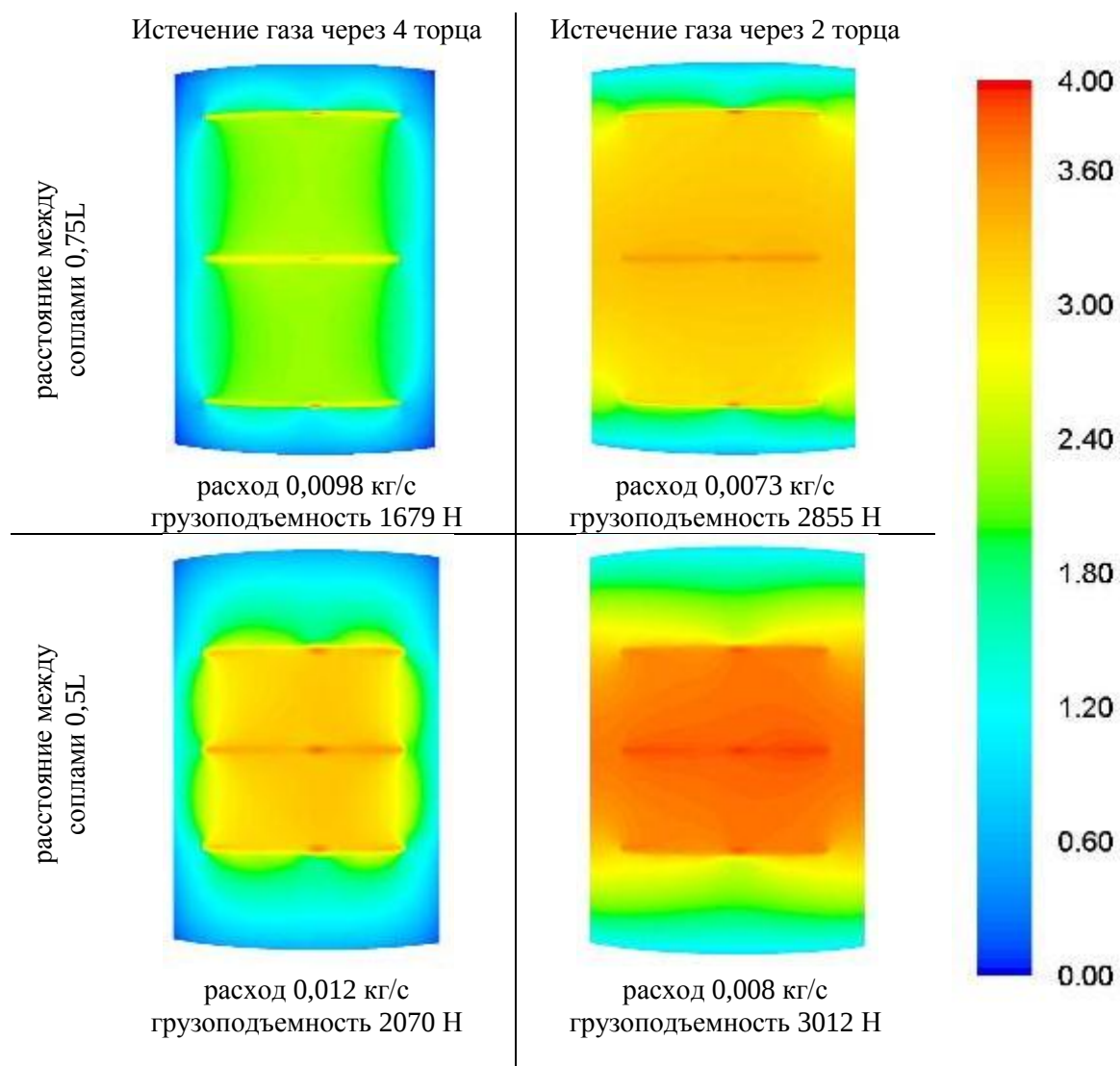
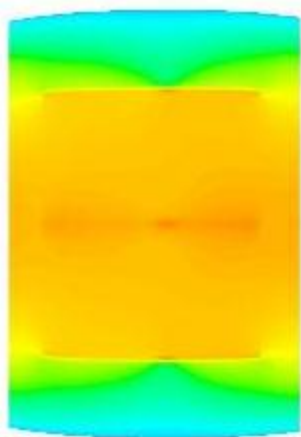


Рис. 3. Эпюры давлений в смазочном слое при постоянном давлении подачи 4 атм.

Рассмотрен случай продольного расположения щелевых сопел (параллельно оси вращения вала) Из приведенных распределений давлений (рис. 4) видно, что колодка с перпендикулярным оси расположением сопел обеспечивает большую грузоподъемность при том же расходе. Это можно объяс-

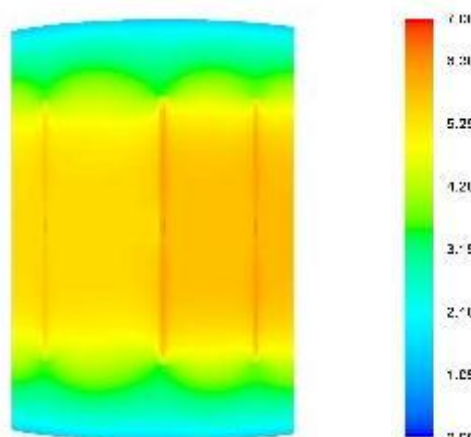
нить тем, что при продольном расположении щелей газ беспрепятственно перетекает к торцам колодки, а при поперечном расположении щелей растекание газа ограничивается зонами повышенного давления между крайними щелями колодки, в результате чего происходит более эффективное использование рабочего газа.

Истечение газа через 2 торца.
Расположение сопел перпендикулярно
оси вращения



давление 6,4 атм
грузоподъемность 4871 Н.

Истечение газа через 2 торца.
Расположение сопел вдоль оси
вращения



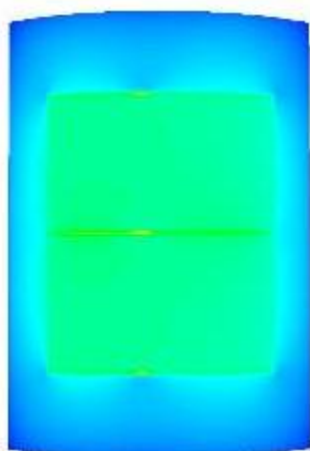
давление 7 атм
грузоподъемность 4633 Н

Рис. 4. Эпюры давлений в смазочном слое для колодок с разной ориентацией сопел при постоянном расходе рабочего газа 0,0125 кг/с.

Проведен расчет колодки с соплами замкнутыми контуром. В случае истечения газа через все 4 торца колодки расчет показал увеличение грузоподъемности более чем на 10%, по сравнению с той же колодкой без контура, в случае истечения газа через 2 торца колодки грузоподъемность выросла не значительно, что можно объяснять отсутствием тангенциальной составляющей течения (рис.5).

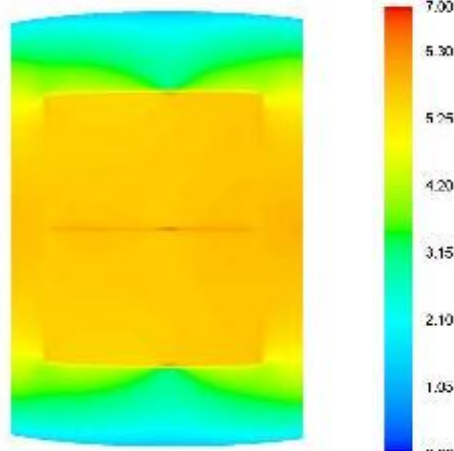
Истечение газа через 4 торца

расстояние между
соплами 0,625L



давление 4,6 атм
грузоподъемность 2093 Н

Истечение газа через 2 торца



давление 6,7 атм
грузоподъемность 4790

Рис. 5. Эпюры давлений в смазочном слое для колодки с контуром при постоянном расходе рабочего газа 0,0125 кг/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена колодка с 3 щелевыми соплами. Исследования показали, что при условии постоянного расхода существует оптимальное расстояние между соплами, обеспечивающее наибольшую грузоподъемность.

Расчеты при постоянном давлении на питателях, показали, что колодка с минимальным расстоянием между бороздками потребляет большее рабочего газа, за счет чего обеспечивает большую грузоподъемность. Сравнения результатов моделирования колодок для полноохватного и сегментного подшипника показывает, что при истечении газа через 4 торца увеличивается расход на 25-33%, грузоподъемность при этом падает на 30-40%.

Применение на поверхности колодки контура замыкающего сопла обеспечивает увеличение грузоподъемности более чем на 10 % в случае истечения газа через 4 торца колодки, при истечении через 2 торца изменение грузоподъемности не значительно, что объясняется отсутствием тангенциальной составляющей течения.

Особенностью проведенных расчетов является использование полных уравнений Навье-Стокса (вместо упрощенных уравнений газовой смазки Рейнольдса), которые справедливы, как при расчете ламинарного течения газа в смазочном слое, так и при турбулентном течении жидкости в системе каналов для распределения рабочего газа по соплам.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование осуществлено ООО «ЦТТ «Кулон» при грантовой поддержке Фонда «Сколково».

Список литературы

1. Bulat P.V., Bulat M. P. 2013. "Basic Classification of the Gas-Lubricated Bearings." World Applied Sciences Journal. Vol. 28 (10) : P. 1444–1448. Retrieved ([http://www.idosi.org/wasj/wasj28\(10\)13/17.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj28(10)13/17.pdf))
2. Опоры скольжения с газовой смазкой / Под ред. С.А. Шейнберга. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1979. 336 с.
3. Constantinescu V. N. Lubrificatia cu gaze. Bucuresti, 1963.
4. Проектирование гидростатических подшипников. Под ред. Гарри Риппела. Перевод с английского Г.А.Андреевой. М.: Машиностроение, 1967, 135 с.
5. Подшипники с газовой смазкой. Под ред. Н.С.Грессема., Дж.У.Пауэлла. М.: Мир, 1966, 415 с.
6. Bulat M.P. Bulat P.V. The history of the gas bearings theory development. World Applied Sciences Journal 27(7):893-897, 2013.
7. Lord Rayleigh. Notes on the theory of lubrication. Philosophical Magazine, 1918, v. 35, № 1, p. 1–12.
8. Ilin T.E., Bulat M.P. Non-stationary Operation Regimes of the Gas Bearings. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 8(2): 215-220, 2014.
9. Об исследовании колебательного движения газового подвеса ротора турбохолодильных и детандерных машин. Часть 1. Постановка задачи. Усков В.Н., Булат П.В. Вестник Международной Академии Холода. 2012. № 3. с. 3-7.
10. Об исследовании колебательного движения газового подвеса ротора турбохолодильных и детандерных машин. Часть 2. Колебания давления в соплах питающей системы на сверхкритическом режиме работы. Усков В.Н., Булат П.В. Вестник Международной Академии Холода. 2012. № 1. с. 57.

11. O.Reynolds. On the theory of lubrication and its application to Mr. Beauchamp Tower's experiments, including an experimental determination of the viscosity of olive oil'. Royal Society, Phil. Trans., Pt. 1, 1886, 114 p.

12. Bulat P.V. Comparison of turbulence models in the calculation of supersonic separated flows./ P.V. Bulat, M.P. Bulat // World Applied Sciences Journal. – vol. 27, №10. – 2013.

13. Yakhot, V., Orszag, S.A., Thangam, S., Gatski, T.B. & Speziale, C.G. (1992), "Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique", Physics of Fluids A, Vol. 4, No. 7, pp1510-1520.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКРЫТИЯ НА АНКЕРОВКУ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ

Караваяев И.В.

ассистент кафедры ХЭМ,

Ивановский Государственный Политехнический Университет,

Россия, г. Иваново

Румянцева В.Е.

директор института социально-гуманитарных и естественных наук,

Ивановский Государственный Политехнический Университет,

доктор технических наук, профессор, советник РААСН,

Россия, г. Иваново

Караваяев В.И.

доцент кафедры «Строительная механика», Ивановский Государственный

Политехнический Университет, кандидат технических наук,

Россия, г. Иваново

В статье опровергается гипотеза об определяющем влиянии покрытия поверхности композитной арматуры. Для этого были проведены эксперименты по выдергиванию подготовленных стержней композитной арматуры из бетонных образцов. Результаты показали незначительную зависимость прочности анкеровки от вида покрытия.

Ключевые слова: композитная арматура, анкеровка, обработка плазмой.

Известно, что применение композитной арматуры в силовых элементах конструкций ограничено по причине низкого сцепления арматуры с бетоном. В связи с этим, не удастся полностью реализовать основные преимущества композитной арматуры: высокую прочность, малый удельный вес, коррозионную стойкость и низкую стоимость. В значительной степени причиной низкого сцепления является низкая жесткость прутка арматуры и его сужение при растяжении, обусловленное высоким коэффициентом Пуассона. В специальной литературе, нормативных документах, статьях на сайтах производителей композитной вопрос анкеровки изложен ограниченно. Таким образом, была поставлена задача выявления дополнительных факторов, влияющих на сцепление арматуры с бетоном.

Как известно, анкеровка стальной арматуры зависит от следующих факторов: механическое зацепление выступов профиля арматуры за бетон, адгезия (приклеивание) к телу бетона за счет клейкости вяжущего [1]. Поскольку композитная арматура не имеет характерного ярко выраженного профиля, была выдвинута гипотеза о том, что адгезия является ключевым фактором в прочности анкеровки. В литературе по реконструкции зданий, описываются способы усиления балок, плит перекрытий и прочих «горизонтальных» несущих конструкций, которые заключаются в приклеивании или создании композитов на поверхности реконструируемых (усиливаемых) конструкциях [2]. Такие композиты работают за счет приклеивания к поверхности матрицей композита и передачи усилий на наполнитель, к примеру, стекловолокно. Таким образом обеспечивается совместная работа усиленной конструкции, где часть напряжений передается на усиление. В случае с композитной арматурой, в роли клея выступает цементное вяжущее, а композитная арматура, в целом, является композитом.

Для того чтобы найти подтверждение или опровержение гипотезе, были проведены серии экспериментов по осевому выдергиванию прутка арматуры с различными видами покрытий из бетона. Данный метод описывается приложением Д по ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия». Преимуществом такого метода является доступность оборудования.

Поскольку на момент проведения эксперимента, ГОСТ 31938-2012 не был утвержден, исследования были проведены с некоторыми отступлениями от стандарта: не была использована скользящая втулка-вкладыш; использовано удерживающее устройство «Приспособление для проведения испытаний по вырыванию из бетона прутка композитной арматуры» [3]; не соблюдено расстояния в 40 диаметров арматуры от захватов разрывной машины до кубика.

Применение удерживающего устройства, изображенного на рисунке, позволяет избежать перекоса образца в процессе испытания, за счет дополнительной степени свободы. В результате, в процессе испытания опорная пластина занимает перпендикулярное положение к линии действия силы, устанавливая прутки соосно с захватами разрывной машины.

Для определения адгезионной составляющей в анкеровке, были подготовлены образцы длиной 270 мм с различными видами покрытий: напыление нержавеющей стали, оксида титана и обработка поверхности плазмой, а также, контрольный образец, без обработки.

Прутки арматуры были помещены в форму для заливки бетоном с длиной анкеровки 60 мм. Форма представляет собой куб стороной 100 мм. По истечению 28 суток, при достижении бетоном своей прочности, образцы были испытаны на вырывание.

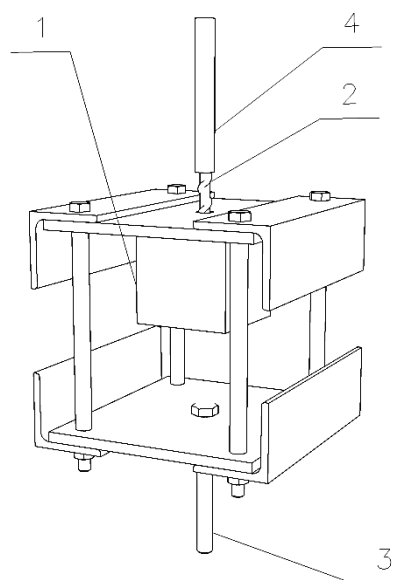


Рис. Удерживающее устройство с установленным образцом
1 – бетонный образец, 2 – прутки композитной арматуры, 3 – тяга, 4 – гильза

Во время проведения первой серии опытов, было обнаружено, что при вырывании прутка, кубики давали трещины. Косвенно, это могло отразиться на достоверности результатов, поэтому, была проведена дополнительная серия испытаний, исключающих образование трещин. Для этого использована жесткая несъемная опалубка в виде стальной трубы диаметром 100 мм, толщиной стенки 4 мм длиной 150 мм, ограничивающая растрескивание образца в процессе эксперимента и моделирующая реальные условия обжатия образца. Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица

Тип покрытия	Усилие вырывания, кН	
	Бетонный куб	Несъемная опалубка
Без покрытия	41,0	40,8
Нержавеющая сталь	37,9	43,4
Оксид титана	36,4	44,0
Плазма	40,4	45,8

Из таблицы следует, что разница усилий вырывания в пределах серии опытов, лежит в пределах 5%. Такой результат говорит о том, что «тонкослойные» покрытия не влияют на прочность анкеровки, а характер анкеровки композитных стержней с полимерным связующим не является адгезионным. Кроме того, независимо от партии бетона и условий обжатия бетонного образца, усилие выдергивания меняется незначительно, и приблизительно равно усилию среза навивки стержней арматуры.

Таким образом, усилие выдергивания в большей степени зависит от упругих и прочностных свойств самой арматуры.

Список литературы

1. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: Общий курс. Учебник для вузов. 5-е изд., перераб. М.: Стройиздат, 1991. 767 С.

2. Ключев С.В., Гурьянов Ю.В. Внешнее армирование изгибаемых фибробетонных изделий углеволокном // Инженерно-строительный журнал. № 1 (36), 2013 г. С. 21 – 26.
3. Приспособление для проведения испытаний по вырыванию из бетона прутка композитной арматуры : свидетельство №149570 Рос. Федерация. №201412276/28; заявл. 02.06.2014; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1

РАЗМЕЩЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Крылов Ю.Д.

доцент кафедры вычислительных систем и сетей Санкт-Петербургского
государственного университета аэрокосмического приборостроения,
канд. техн. наук, доцент,
Россия, г. Санкт-Петербург

В статье рассматривается применение метода многокритериальной оптимизации для размещения распределенных баз данных, распределенных баз знаний, экспертных систем и других управляющих систем по машинам локальной вычислительной сети с целью минимизации времени обработки запросов при наличии ограничений на объемы памяти машин и приоритетности обслуживания.

Ключевые слова: базы данных и знаний, запросы, локальные вычислительные сети, многокритериальная оптимизация.

При управлении объектами различного назначения встает проблема создания распределенных баз данных (РБД) и знаний (РБЗ), построенных на основе локальных вычислительных сетей (ЛВС) и интегрированных систем управления крупными территориально распределенными сетями, построенными на основе стандарта TMN (Telecommunication Managment Network). Примером могут служить распределенные системы технической диагностики и административного управления вычислительными сетями и т.д. При создании баз данных используются реляционные, сетевые и иерархические модели представления данных. Для РБД целесообразно использовать реляционную модель данных, допускающую обращение к файлам с помощью систем управления, использующих язык реляционного исчисления. При этом возникает задача размещения файлов данных и запросов или частей запросов (подзапросов) по отдельным ЭВМ ЛВС для ускорения обработки запросов путем параллельной обработки подзапросов на ЭВМ, реализующих обработку запроса [1]. Кроме того из-за ограничений на объем памяти отдельных ЭВМ требуется размещение файлов по машинам ЛВС, общий объем которых может быть значительным. В некоторых случаях необходимо чтобы запросы, формируемые на определенных ЭВМ, обрабатывались быстрее, чем те же запросы с других ЭВМ, то есть может иметь место система предпочтений в соответствии с рангом пользователей, работающих на этих ЭВМ. Пусть имеется множество управляющих ЭВМ $\{M_i, i = 1, N\}$, а РБД и РБЗ содержит множе-

ство файлов баз данных и знаний $\{f_j, j = 1, J\}$. Каждый запрос, поступающий от любой ЭВМ, характеризуется множеством операций $\{O_m, m = 1, M\}$, множеством информационных связей $\{U_{ml}, m, l = 1, M\}$, где U_{ml} равно объему передаваемых результатов, если операция O_m использует в качестве входных данных результат операции O_l , в противном случае $U_{ml} = 0$. Допустим, что граф связей каждой операции имеет иерархическую (древовидную) структуру, причем количество вершин низшего уровня $0 \leq M_0 \leq M - 1$. Операции характеризуются длительностью обработки $t_m, m = 1, M$. Операции O_m соответствующие файлам данных запроса, имеют нулевую длительность выполнения.

Каждый запрос характеризуется множеством распределений операций по ЭВМ и множеством допустимых последовательностей операций. Эти множества образуют множество альтернатив.

Для каждой управляющей ЭВМ необходимо определить распределения файлов, операций и последовательности их выполнения таким образом, чтобы минимизировать время их выполнения на каждой такой ЭВМ. При этом возникает N целевых функций

$$T_i(X) = \sum_{m=M_0+1}^M x_{mi} t_m + \tau_n \left(\sum_{m=M_0+1}^M \sum_{l=M_0+1}^M U_{ml} y_{mili'} + \sum_{m=1}^{M_0} \sum_{j=1}^J V_j d_{mj} y_{mili'} \right),$$

$$i = 1, N; i' = 1, N; i \neq i'$$

Здесь величина $x_{mi} = 1$, если операция O_m предназначена на i -ю машину и $x_{mi} = 0$, в противном случае, τ_n - время передачи единицы информации между двумя машинами, например пакета данных. Величина $y_{mili'} = 1$, если операция O_m , назначенная на машину i , получает результаты вычислений операции O_l , реализуемой на машине i' ($i \neq i'$), и $y_{mili'} = 0$, если $(x_{mi} = 1 \cap x_{li} = 1) \cup (x_{mi} = 0 \cap x_{li'} = 0)$, то есть операции O_m и O_l назначены на одну ЭВМ или обе эти операции на эту машину не назначены. Величина $y_{mili'}$ может быть представлена выражением $(x_{mi} - 2x_{mi}x_{li'} + x_{li'})$, которое принимает значение 1 или 0 соответственно в зависимости от того, какие из перечисленных выше условий выполняются. Величина d_{mj} равна 1, если y -й файл используется операцией O_m , и равна 0 в противном случае, V_j - объем файла.

Если каждый файл и операция должны быть назначены только на одну ЭВМ, то

$$\sum_{i=1}^N x_{mi} = 1, \quad m = 1, M.$$

Если же допускается дублирование файлов и операций в различных ЭВМ, то данное ограничение снимается.

При размещении файлов по машинам управления должно соблюдаться ограничение

$$\sum_{m=1}^{M0} \sum_{j=1}^J V_j d_{mj} x_{mj} \leq V_i, \quad i = 1, N$$

где V_i - допустимый объем памяти i -й машины для размещения файлов.

Отношение следования операций можно выразить в виде следующего условия

$$T_{i'}^{(l-1)} + t_l x_{li'} y_{ml} + \tau_n U_{ml} (x_{mi} - 2x_{mi} x_{li'} + x_{li'}) \leq T_i^{(m-1)},$$

$$i, i' = 1, N; i \leq i'; l = 1, m-1; m = 2, M,$$

где $y_{ml} = 1$, если операция O_m выполняется после операции O_l и $y_{ml} = 0$ в противном случае.

Переменные x_{mi} в вышеприведенных выражениях принимают лишь два значения, то есть

$$x_{mi} = \{0, 1\}, m = 1, M; i = 1, N.$$

В результате возникает задача многокритериальной оптимизации N целевых функций $Ti(X), i = 1, N$ при наличии системы ограничений на объем памяти отдельных ЭВМ, отведенную под размещение файлов и, возможно, должно выполняться требование на однократное размещение файлов в машинах ЛВС.

Решение многокритериальной задачи для статистического планирования может быть осуществлено следующим образом с помощью человеко-машинного алгоритма [2]. Прежде всего, решается N задач поиска наилучшего альтернативного распределения файлов и операций по каждой функции цели путем решения однокритериальных задач с учетом ограничений методом ветвей и границ и находится N значений

$$\min Ti(X_{jopt}) = T_i^0, i = 1, N$$

и определяется N значений

$$\max Ti(X_{jopt}) = Ti \max, j \neq i, i = 1, N.$$

Лицом, принимающим решение (ЛПР) формируется информация для выбора желаемых значений функций цели, например, по величине разбросов.

$$[T^0, Ti \max], i = 1, N$$

Полагаем, номер итерации $r = 1$. ЛПР выбирает вид преобразования, например следующего вида

$$Wi(X) = \frac{Ti(X) - T_i^0}{Ti \max - T_i^0}, \quad i = 1, N.$$

На основании этой информации задаются желаемые значения по каждой функции цели. Поиск эффективного решения X^k , желаемым для ЛПР значением функций целесообразно проводить по критерию

$$Ti(X^k) \leq T_i^{*(r)}, i = 1, N.$$

При этом полагаем $r = r + 1$. Далее алгоритм развивается на этапы.

Этап 1. Желаемые значения $T_i^{*(r)}, i = 1, N$ переводятся в точку векторного пространства

$$W^{*(r)} = \{W_i^{*(r)} = W_i(T_i^{*(r)})\}, i=1, N.$$

и вычисляются значения компоненты вектора ρ по формуле

$$\rho_i^* = \frac{\prod_{j=1}^N w_j^{*(r)}}{\sum_{q=1}^N \prod_{\substack{j=1, \\ j \neq q}}^N w_j^{*(r)}}.$$

Соответствующее направление поиска, определяемое направляющими косинусами

$$\cos \beta_i^* = \frac{\prod_{j=1}^N \rho_j^*}{\sqrt{\sum_{q=1}^N \prod_{j=1, j \neq q}^N \rho_j^{*2}}}, \quad i=1, N$$

называется опорным направлением.

На рисунке 1 приведен пример поиска компромиссного решения для двух критериев. При этом G – область значений преобразованных критериев W_1 и W_2 на множестве ограничений, Γ – граница этого множества, Ω_R^j , $j=1, l+1$ – область значений W_1 и W_2 , в котором эти критерии принимают значения не превосходящие $k_0(j)$.

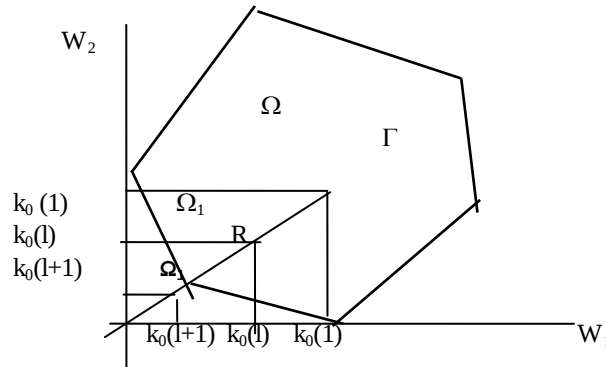


Рис. 1. Пример поиска компромиссного решения для двух критериев

Этап 2. Решается задача векторной оптимизации для обобщенной функции цели

$$F(X) = \sum_{i=1}^N \rho W_i(X), i=1, N$$

при $\rho = \rho^{*(r)}$, что позволяет отыскать эффективную альтернативу $X^{k(r)}$ со значением функции цели $Ti(X^{k(r)}), i=1, N$ и соответствующую ей точку $W_i^{*(r)}$.

Этап 3. Осуществляется проверка условий

$$W_i^{k(r)} \leq W_i^{*(r)}, i=1, N.$$

Если они выполняются, то процедура заканчивается. При невыполнении условий необходимы дополнительные исследования по предложенному ал-

горитму для определения направления корректировки величин T_i^* и этапы 1-3 повторяются вновь.

На всех этапах процедур ЛПР работает в пространстве значений функций цели, которое имеет значительно меньшую размерность, чем пространство альтернатив. Кроме того, ЛПР работает не со всей областью допустимых значений, а с ее частью, определяемой желательными значениями функций цели.

Проведенные на модели расчеты при числе машин $N=3$ и числе операций запроса $M=6-15$ для управляющих машин, организованных в ЛВС с топологией шины, при различных дисциплинах выбора предпочтений и нагрузках сети 0,3-0,8 показали в среднем 18% экономии времени реализации запросов по сравнению с произвольным расположением файлов и операций по машинам такой ЛВС.

Список литературы

1. Крылов Ю.Д. Многокритериальная оптимизация при построении баз данных [Текст] / Ю.Д. Крылов // НЗ4 Научная сессия ГУАП: Сб. докл.: в 3 ч. // Технические науки. – СПб.: ГУАП, 2013.- С.134-135.
2. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. - 268 с.

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ ОБОГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Медяков А.А.

доцент кафедры энергообеспечения предприятий Поволжского государственного технологического университета, канд. техн. наук, доцент,
Россия, г. Йошкар-Ола

Каменских А.Д.

ассистент кафедры эксплуатации машин и оборудования
Поволжского государственного технологического университета,
Россия, г. Йошкар-Ола

В статье рассматривается принцип действия инфракрасного каталитического обогревателя с направленным движением каталитического наполнителя в вертикальном исполнении. Применение разрабатываемого устройства может найти в различных системах теплоснабжения производственных объекта, за счет интенсификации процесса горения биогаза.

Ключевые слова: каталитические устройства, катализатор, каталитический наполнитель, биогаз, ИК-излучение.

Каталитические устройства для низкотемпературного окисления горючих компонентов биогаза могут использоваться в существующих системах отопления, вместо традиционных устройств факельного сжигания. Разраба-

тываемые каталитические устройства, могут быть использованы в системах теплоснабжения производственных объектов. Они служат для поддержания необходимой температуры на технологических объектах или в производственных помещениях, тем самым повышая эффективность систем обогрева, за счет увеличения интенсивности процесса горения биогаза. Кроме этого, при использовании каталитических устройств в системе отопления происходит сокращение выбросов вредных газов в атмосферу [1].

Рассмотрим процесс функционирования инфракрасного каталитического обогревателя с направленным движением каталитического наполнителя в вертикальном исполнении (рис. 1).

Каталитическая система состоит из двух трубопроводов – подъемная и реакционная труба, выполненных в виде спиралей. Основной процесс окисления осуществляется в реакционной трубе, которая является больше по размеру, чем подъемная. В реакционной трубе каталитический наполнитель и сжигаемая смесь (поток I) движутся в противоположных направлениях (сжигаемая смесь вверх, каталитический наполнитель вниз). При этом подъемная труба используется для доставки каталитического наполнителя с помощью потока сжигаемой смеси (поток II) в верхнюю точку реакционной трубы.

Процесс 1, обозначенный на рисунке представляет собой процесс отвода каталитического наполнителя из реакционной трубы в нижней ее точке в бак-накопитель. Отвод осуществляется по касательной к спирали реакционной трубы, чтобы отделение наполнителя происходило под действие центробежной силы. Затем из бака-накопителя в течение процесса 2 с помощью струйного смесителя осуществляется подача каталитического наполнителя в подъемную трубу, по которой протекает поток сжигаемой смеси II.

В рамках процесса 3 потоком сжигаемой смеси увлекает каталитический наполнитель вверх по подъемной трубе, где осуществляется предварительный подогрев смеси. В течение процесса 4 осуществляется подъем каталитического наполнителя по подъемной трубе, который сопровождается процессом взаимодействия наполнителя со сжигаемой смесью с выделением теплоты. В результате процесса подъема каталитический наполнитель прогревается до температуры, при которой он начинает излучать инфракрасное излучение, беспрепятственно проходящее через лучепрозрачный материал подъемной трубы в обогреваемое помещение.

В рамках процесса 5 происходят смешение потоков уходящих газов из подъемной трубы и реакционной трубы, а так же подача нагретого каталитического наполнителя в реакционную трубу.

В рамках процесса 6 каталитический наполнитель движется под действием силы тяжести вниз по реакционной трубе противоположно восходящему потоку сжигаемой смеси I. В результате сжигаемая смесь взаимодействует с каталитическим наполнителем с выделением теплоты, и нагретый наполнитель отдает теплоту в виде инфракрасного излучения обогреваемому помещению. Внизу реакционной трубы повторяется процесс отвода наполнителя 1.

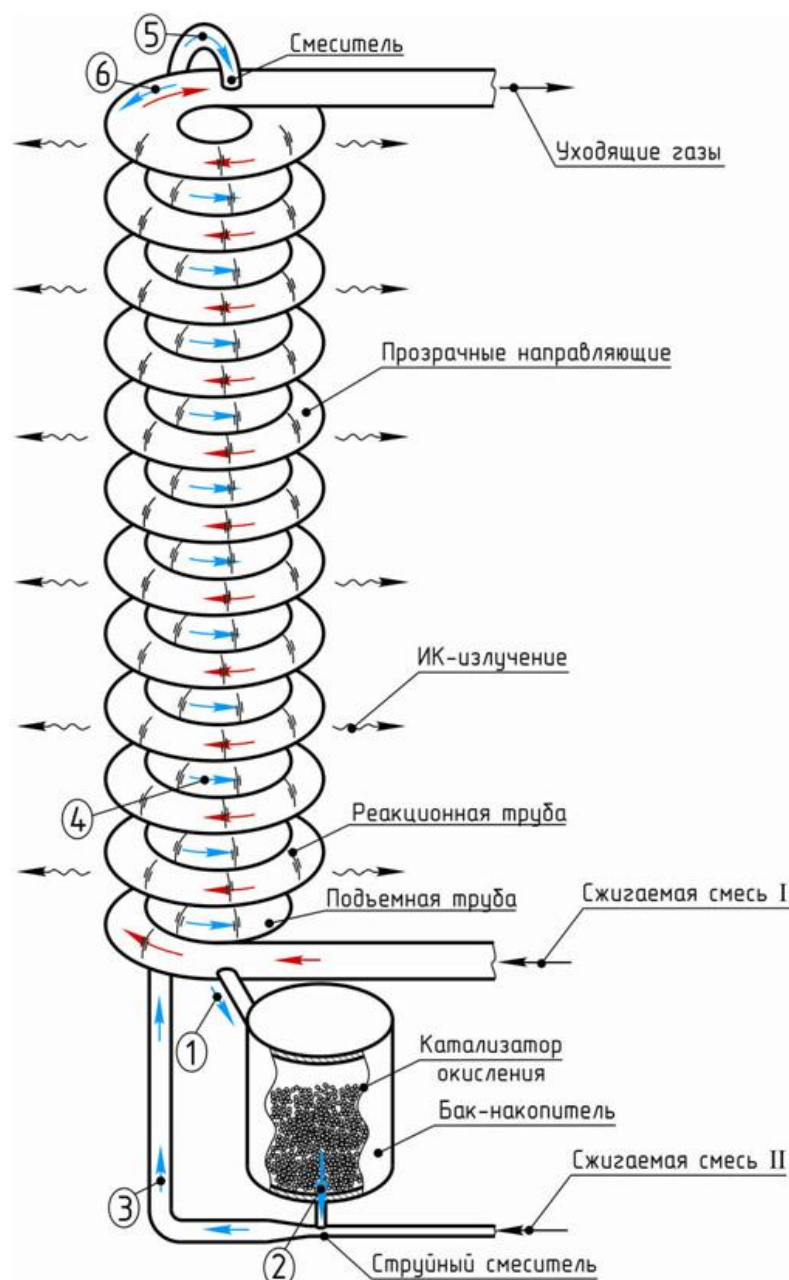


Рис. Инфракрасный каталитический обогреватель с направленным движением каталитического наполнителя в вертикальном исполнении

В процессе функционирования каталитической системы в помещение могут не подаваться уходящие после процесса горения газы, если это обусловлено производственными условиями. При этом в реакционной трубе организуется более интенсивный процесс каталитического окисления за счет обеспечения предварительного обогрева катализатора в подъемной трубе, и обеспечиваются равномерные температурные условия по длине реакционной трубы ввиду организации разнонаправленного движения каталитического наполнителя и сжигаемой смеси [2].

Каталитический наполнитель проходит через зоны:

- предварительного подогрева наполнителя – занимает всю подъемную трубу;
- догорания – расположена в верхней части реакционной трубы;

- интенсивного горения – расположена в нижней части реакционной трубы;
- возврата – в нее входят бак-накопитель, струйный смеситель, нижняя часть подъемной трубы.

В результате использования каталитических систем позволяет организовать более интенсивный процесс каталитического горения за счет обеспечения предварительного обогрева катализатора в подъемной трубе и обеспечить равномерные температурные условия в каталитической системе ввиду организации разнонаправленного движения каталитического наполнителя и сжигаемой смеси.

Список литературы

1. Онучин Е.М. Нестационарные каталитические системы для утилизации биогаза / Е.М. Онучин, А.А. Медяков, А.Д. Каменских, П.Н. Анисимов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №04(78). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/46.pdf>.
2. Сидыганов Ю.Н. Инфракрасный обогреватель с направленным движением каталитического наполнителя / Ю.Н. Сидыганов, Е.М. Онучин, А.А. Медяков, А.Д. Каменских, П.Н. Анисимов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №07(101). – Режим доступа: <http://www.ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/123.pdf>.

МОДЕЛЬНЫЕ ДВУМЕРНЫЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ПО ТИПОВЫМ КРИТЕРИЯМ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ РЕЖИМАМИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА¹

Плешивцева Ю.Э.

профессор кафедры «Управление и системный анализ в теплоэнергетике» Самарского государственного технического университета, д. т. н., профессор, Россия, г. Самара

Дьяконов А.И.

ассистент кафедры «Автоматика и управление в технических системах» Самарского государственного технического университета, Россия, г. Самара

Попов А.В.

ассистент кафедры «Автоматика и управление в технических системах» Самарского государственного технического университета, Россия, г. Самара

В статье сформулированы и решены двумерные нелинейные задачи оптимального по типовым критериям качества управления процессом индукционного нагрева с чебы-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части Государственного задания (код проекта №1436)

шевской оценкой конечных температурных состояний. Оптимизация алгоритмов оптимального по быстродействию, точности нагрева и расходу энергии управления проведена с помощью альтернансного метода оптимизации систем с распределенными параметрами, разработанного в Самарском государственном техническом университете. В оптимизационную процедуру интегрирована двумерная численная модель взаимосвязанных электромагнитных и тепловых полей, построенная на базе специализированного конечно-элементного пакета Cedrat FLUX.

Ключевые слова: оптимальное управление, быстродействие, точность, минимум расхода энергии, альтернансный метод, численная модель, индукционный нагрев, Cedrat FLUX.

Введение

На современном этапе развития производства электротехнологии заняли одно из ведущих мест в различных отраслях промышленности. Последние десятилетия индукционные нагревательные установки (ИНУ) находят все более широкое применение на практике благодаря ряду преимуществ перед другими нагревательными агрегатами: эффективности применения в массовом производстве, повторяемости процесса и его гарантированному качеству, сравнительной простоте автоматизации, высокой степени надежности, пониженным затратам на обслуживание и эксплуатацию, экологической безопасности, компактности и др.

Промышленные процессы сквозного индукционного нагрева металлических заготовок до требуемой температуры по всему объему нагреваемых тел широко используются для термообработки металлов перед последующими технологическими операциями пластической деформации при ковке, штамповке, прокатке, прессовании и т.д.

Актуальность решения задач оптимального управления (ЗОУ) процессами сквозного индукционного нагрева напрямую связана с постоянно возрастающей потребностью в повышении экономической эффективности и конкурентоспособности производственных процессов. Проблема достижения предельных качественных показателей процессов нагрева может быть решена с помощью оптимизации режимов работы ИНУ по соответствующим критериям оптимальности.

Постановка базовой двумерной задачи оптимального управления процессом индукционного нагрева

Процесс индукционного нагрева цилиндрических заготовок, рассматриваемый в качестве объекта управления с распределенными параметрами (ОРП), в общем виде описывается взаимосвязанной системой уравнений Максвелла и Фурье:

$$\operatorname{rot} \bar{H} = \sigma(T) \bar{E} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}; \quad \operatorname{rot} \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}; \quad \operatorname{div} \bar{B} = 0; \quad \operatorname{div} \bar{E} = 0;$$

(1)

$$c(T) \gamma(T) \frac{\partial T(r, l, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(T) r \frac{\partial T(r, l, t)}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial l} \left(\lambda(T) \frac{\partial T(r, l, t)}{\partial l} \right) + \frac{1}{\sigma(T)} \left(\frac{\partial H(r, l, t)}{\partial r} \right)^2 \quad (2)$$

где $\bar{H}$ - вектор напряженности магнитного поля; $\sigma(T)$ - электрическая проводимость; T - температура; $\bar{E}$ - вектор напряженности электрического поля; $\bar{D}$ -

вектор плотности электрического потока; t - время; $\vec{B}$ - вектор плотности магнитного потока; $\gamma(T)$, $c(T)$, $\lambda(T)$ - соответственно, удельная теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности нагреваемого металла; $\vec{V}$ - вектор скорости перемещения заготовки; $r \in [0; R]$ и $l \in [0; L]$ - соответственно, радиальная и продольная пространственные координаты, R - радиус заготовки, L - длина заготовки.

Требования к конечному состоянию объекта формулируются с помощью задания максимально допустимой величины ε отклонения температурного распределения $T(r, l, t)$ в конечный момент процесса нагрева $t = t^0$ от заданного температурного распределения $T^*(r, l)$:

$$\max_{r \in [0, R]; l \in [0, L]} |T(r, l, t^0) - T^*(r, l)| \leq \varepsilon. \quad (3)$$

В качестве сосредоточенного управляющего воздействия рассмотрим напряжение индуктора $u(t)$, ограничение на которое задается в виде диапазона его возможного изменения, в пределах допустимых границ $u_{\min} = 0$ и $u_{\max} = \text{const}$:

$$u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max}, t \in (0; t^0). \quad (4)$$

Применительно к установившимся режимам работы типовые критерии качества учитывают такие основные характеристики ИНУ, как производительность, качество продукции, энергетические затраты.

В случае, когда требуется обеспечить максимальную производительность ИНУ при заданных температурных кондициях нагреваемых изделий, в качестве критерия оптимальности выступает критерий быстрогодействия, минимизирующий длительность процесса нагрева t^0 :

$$I_1 = \int_0^{t^0} dt = t^0 \rightarrow \min. \quad (5)$$

При необходимости достижения равномерных структурных свойств материала заготовки по её объему и наименьшего разброса температурных кондиций заготовок от одного цикла обработки к другому, достижение максимальной точности нагрева при наличии резерва времени обеспечивает критерий, который может быть представлен в следующем виде:

$$I_2 = \max_{r \in [0, R]; l \in [0, L]} |T(r, l, t^0) - T^*(r, l)| \rightarrow \min. \quad (6)$$

Во многих случаях основную статью себестоимости процессов нагрева представляют энергетические затраты (расход энергии на нагрев), которые в этом случае и следует рассматривать в роли критерия оптимальности, представляемого в интегральной форме:

$$I_3 = \int_0^{t^0} P(t) dt \rightarrow \min, \quad (7)$$

где $P(t)$ - закон изменения во времени потребляемой ИНУ мощности [1, 2].

Рассмотрим наиболее простой идеализированный вариант ЗОУ с полным объёмом информации об ОРП и предъявляемым к нему требованиям, считая, что возмущающие воздействия отсутствуют, и, не учитывая период

транспортировки изделия к деформирующему оборудованию и технологические ограничения. Тогда можно сформулировать следующую общую постановку ЗОУ.

Требуется найти такой алгоритм изменения управляющего воздействия $u_{onm}(t)$ во времени, который обеспечивает перевод рассматриваемого ОРП, функция состояния которого $T(r, l, t)$ описывается уравнениями (1)-(2) с соответствующими краевыми условиями, из заданного начального состояния в требуемое конечное состояние $T^*(r, l)$ с допустимой абсолютной точностью ε , согласно (3), при минимально возможном значении выбранного критерия оптимальности из набора (5)-(7) в условиях заданных ограничений на управляющее воздействие вида (4). Для простоты будем далее считать начальное температурное состояние равномерным, принимая $T(r, l, 0) = T_0(r, l) \equiv T_0 = const; r \in [0, R]; l \in [0, L]$.

Постановка и редукция модельных задач оптимального управления к задачам математического программирования

Задача оптимального по быстродействию управления

Требуется найти закон изменения во времени оптимального управления $u_{onm}(t)$, стесненного ограничением (4), обеспечивающего за минимально возможное время перевод объекта из заданного начального состояния в требуемое конечное $T^*(r, l)$ с заданной точностью ε , согласно (3), в условиях моделирования ОРП уравнениями (1)-(2).

Используя методы теории оптимального управления системами с распределенными параметрами, можно показать [3-5], что в рамках сформулированной нелинейной задачи оптимальное по быстродействию управление $u_{onm}(t), t \in [0, t^0]$ есть релейная функция времени t , принимающая попеременно только свои предельно допустимые, согласно (4), значения $u_{\max}$ и $u_{\min} \equiv 0$, и, следовательно, оптимальный процесс состоит из чередующихся интервалов нагрева с максимальной интенсивностью и последующего выравнивания температур:

$$u_{onm}(t) = \frac{u_{\max}}{2} [1 + (-1)^{s+1}], \quad t_{s-1} < t < t_s, \quad s = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Таким образом, задача сводится к поиску числа N интервалов постоянства $\Delta = (\Delta_i), i = \overline{1, N}$ и их длительностей, однозначно характеризующих искомого управление $u_{onm}(t)$, которое можно теперь записать следующим образом:

$$u_{onm}(t) = \frac{u_{\max}}{2} [1 + (-1)^{j+1}], \quad \sum_{i=1}^{j-1} \Delta_i < t < \sum_{i=1}^j \Delta_i, \quad j = \overline{1, N}. \quad (9)$$

При управляющем воздействии вида (9) температурное поле в конце процесса нагрева при $t = t^0$ в любой точке по объему описывается зависимостью $T(r, l, \Delta)$ от переменных r, l и Δ . В этом случае условие (3) достижения заданных конечных температурных кондиций записывается в виде:

$$\Phi(\Delta) = \max_{r \in [0; R]; l \in [0; L]} |T(r, l, \Delta) - T^*| \leq \varepsilon_0. \quad (10)$$

Дальнейшая задача сводится к определению таких длительностей $\Delta_i, i = \overline{1, N}$, чередующихся интервалов нагрева и выравнивания температур, которые обеспечивают выполнение условия (10) за минимально возможное время, очевидно, равное сумме всех Δ_i . Тогда в роли критерия оптимальности выступает эта сумма:

$$I(\Delta) = \sum_{i=1}^N \Delta_i \rightarrow \min_{\Delta}. \quad (11)$$

В итоге, исходная задача оптимального по быстродействию управления сводится к задаче математического программирования (ЗМП) на минимум целевой функции (11) N переменных Δ_i с бесконечным числом ограничений, записываемых в форме требования (10), предъявляемого к конечному температурному состоянию ОРП, описываемого уравнениями (1)-(2).

Задача на максимум точности нагрева

Требуется найти закон изменения во времени оптимального управления $u_{opt}(t)$, стесненного ограничением (4), обеспечивающий нагрев заготовки от начальной температуры до состояния, соответствующего минимальному значению критерия (6), за заданное время процесса t^0 в условиях моделирования ОРП уравнениями (1)-(2) с соответствующими краевыми условиями.

Можно доказать [1, 2], что в задаче на максимум абсолютной точности нагрева за заданное время параметризованное оптимальное управление имеет вид (9), как и в задаче быстродействия. В итоге исходная ЗОУ на максимум точности нагрева сводится к следующей ЗМП:

$$I(\Delta) = \max_{\substack{r \in [0; R] \\ l \in [0; L]}} |T(r, l, \Delta) - T^*| \rightarrow \min_{\Delta}; \quad \Phi(\Delta) = \sum_{i=1}^N \Delta_i = \tilde{t}^0 \quad (12)$$

на минимум целевой функции $I(\Delta)$ с ограничением на $\Phi(\Delta)$, решение которой, как будет показано в дальнейшем, совпадает с решением задачи (10)-(11) [1-2].

Задача на минимум расхода энергии

Требуется найти закон изменения во времени оптимального управления $u_{opt}(t)$, стесненного ограничением (4), позволяющий получить в конце процесса нагрева требуемое распределение температуры $T^*(r, l)$ с заданной точностью ε , согласно (3), при минимально возможном значении критерия (7) в условиях моделирования температурного поля уравнениями (1)-(2) с соответствующими краевыми условиями.

Необходимые условия оптимальности в форме принципа максимума Понтрягина [1, 2], устанавливают двухпозиционный характер оптимальных управлений периодическими процессами индукционного нагрева по критериям быстродействия и энергозатрат. Данный вывод может быть распространен на рассматриваемую двумерную нелинейную задачу [6]. При этом в целом ряде ситуаций управляющим воздействиям вида (9) в задачах оптимального по быстродействию и по расходу энергии управления соответствуют различные длительности $\Delta_i, i = 1, 2, \dots, N$, и числа N интервалов постоянства.

Для рассматриваемой задачи критерий (7) превращается в сумму длительностей всех нечётных интервалов управления (вместо суммы (11) длительностей всех интервалов в задаче оптимального быстрогодействия) [1-2]. Тогда условия достижения заданных конечных температурных кондиций (10) в совокупности с критерием оптимальности приводят к следующей ЗМП:

$$I_{\varnothing}(\Delta) = \sum_{i=1,3,5,\dots,N_1}^{N_1} \Delta_i \rightarrow \min; \quad \Phi(\Delta) = \max_{l \in [0; R]; y \in [0; L]} |T(l, y, \Delta) - T^*(r, l)| \leq \varepsilon. \quad (13)$$

Зависимости $T(r, l, \Delta)$ от l , r и Δ в задачах (10)-(11), (12), (13) в работе находятся с помощью численных двумерных электротепловых моделей ПИНМ.

Известные способы решения сформулированных ЗМП (10)-(13) традиционно осуществлялись с помощью достаточно сложных специальных численных методов общего характера, никак не связанных с конкретным содержанием задачи. К настоящему времени разработан новый метод решения, в значительной степени опирающийся на физические свойства исследуемых объектов и открывающий на этом основании большие возможности построения достаточно простых и эффективных инженерных методик расчёта оптимизируемых процессов [1, 2].

Решение ЗМП с помощью альтернансного метода

Задачи математического программирования (10)-(11), (12), (13), к которым сводятся сформулированные модельные задачи оптимального по типовым критериям качества (5)-(7) управления, решались с помощью альтернансного метода параметрической оптимизации ОРП, применение которого в рассматриваемых ЗОУ обладает существенной спецификой [1, 7-11].

Оптимальное управление, являющееся решением одной из сформулированных задач отличается в каждом рассматриваемом случае от всех других N -интервальных управлений вполне определёнными длительностями $\Delta_1^0, \Delta_2^0, \dots, \Delta_N^0$ интервалов постоянства, совокупность которых и является решением одной из ЗМП (10)-(11), (12), (13).

Оптимальному значению Δ^0 вектора Δ отвечает, в свою очередь, пространственное распределение температур $T(r, l, \Delta^0)$ в конце оптимального процесса, которое должно удовлетворять соответствующим ограничениям и критерию оптимальности рассматриваемой задачи.

В теории альтернансного метода доказано [1-2], что температурное распределение $T(r, l, \Delta^0)$ отличается от всех других конечных состояний $T(r, l, \Delta)$ при $\Delta \neq \Delta^0$ рядом свойств, на которых и базируется альтернансный метод. Основное свойство результирующего распределения $T(r, l, \Delta^0)$ состоит в том, что число K точек $x_j^0 = \{r_j^0, l_j^0\}$ по объёму нагреваемой заготовки, в которых достигаются предельные допустимые абсолютные отклонения ε конечной температуры $T(r, l, \Delta^0)$ от требуемой T^* , всегда оказывается не меньшим числа N искомых параметров оптимального процесса. Другими словами, если решение рассматриваемой оптимальной задачи сводится к определению N параметров, однозначно характеризующих оптимальный процесс нагрева,

то в конечный момент времени всегда найдутся такие K точек $x_j^0 = \{r_j^0, l_j^0\}$, $0 \leq r_1^0 < r_2^0 < \dots < r_R^0 \leq R$; $0 \leq l_1^0 < l_2^0 < \dots < l_L^0 \leq L$, для которых выполняется следующая система соотношений:

$$\begin{aligned} |T(r_j^0, l_j^0, \Delta^0) - T^*| &= \varepsilon, \quad j = 1, 2, \dots, K; \quad \Delta^0 = (\Delta_1^0, \Delta_2^0, \dots, \Delta_N^0); \\ \frac{\partial T(r_i^0, l_i^0, \Delta^0)}{\partial l} &= \frac{\partial T(r_i^0, l_i^0, \Delta^0)}{\partial r} = 0; \quad i = 1, 2, \dots, K_1 < K; \quad (r_i^0, l_i^0) \in \{r_j^0, l_j^0\}; \quad (14) \\ K &= \begin{cases} N, & \text{если } \varepsilon_{\min}^{(N)} < \varepsilon < \varepsilon_{\min}^{(N-1)}; \\ N+1, & \text{если } \varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(N)}. \end{cases} \end{aligned}$$

Здесь $\varepsilon_{\min}^{(N)}$ – предельно достижимые отклонения результирующей температуры от заданной в классе управляющих воздействий с N интервалами постоянства, составляющие ряд неравенств:

$$\varepsilon_{\min}^{(1)} > \varepsilon_{\min}^{(2)} > \dots > \varepsilon_{\min}^{(N)} > \varepsilon_{\min}^{(N+1)} > \dots > \varepsilon_{\min}^{(N^*)} = \varepsilon_{\inf} \geq 0, \quad (15)$$

где $\varepsilon_{\inf}$ – предельно достижимая точность нагрева в классе кусочно-постоянных управлений вида (9) с любым числом интервалов постоянства.

Для рассматриваемого класса моделей число интервалов постоянства N оптимального управления однозначным образом связывается с заданным значением ε правилом:

$$N = S \text{ для всех } \varepsilon: \varepsilon_{\min}^{(S)} \leq \varepsilon = \varepsilon_0 < \varepsilon_{\min}^{(S-1)}. \quad (16)$$

Основные особенности решения задач с двумерными моделями процессов нагрева связаны со сложным характером пространственной конфигурации двумерных температурных полей в конце оптимального процесса, отличающейся многовариантными комбинациями расположения по объему нагреваемого тела точек $x_j^0 = \{r_j^0, l_j^0\}$ с предельными отклонениями конечной температуры от заданной T_k^* . Отбор претендентов на роль точек x_j^0 в базовых соотношениях (14) альтернансного метода должен производиться в пределах поперечных сечений цилиндра, а для поиска самих сечений, в границах которых расположены эти точки, следует ввести в качестве дополнительных неизвестных их координаты $\{r_j^0, l_j^0\}$ в расчетные системы уравнений альтернансного метода.

При выполнении для температурного распределения в конце оптимального процесса нагрева основных свойств (14), здесь уже нельзя сформулировать правило знаочередования отклонений $T(r, l, \Delta^0)$ от заданной температуры T^* в подобном одномерному случаю виде. Процедура опознания координат точек x_j^0 и знаков температурных отклонений в этих точках приводит к существенным особенностям вычислительного алгоритма определения оптимальных управляющих воздействий, который описан в [1-2, 6, 11].

Численное решение задач параметрической оптимизации на базе двумерной FLUX модели

Рассмотрим решение сформулированных задач оптимального по типовым критериям качества управления процессом сквозного индукционного нагрева на частоте 50 Гц алюминиевых цилиндрических слитков диаметром

500 мм и длиной 1000 мм до температуры 450°C. Конструктивные параметры индуктора, состоящего из 69 витков, и цилиндрической заготовки показаны на рис. 1.

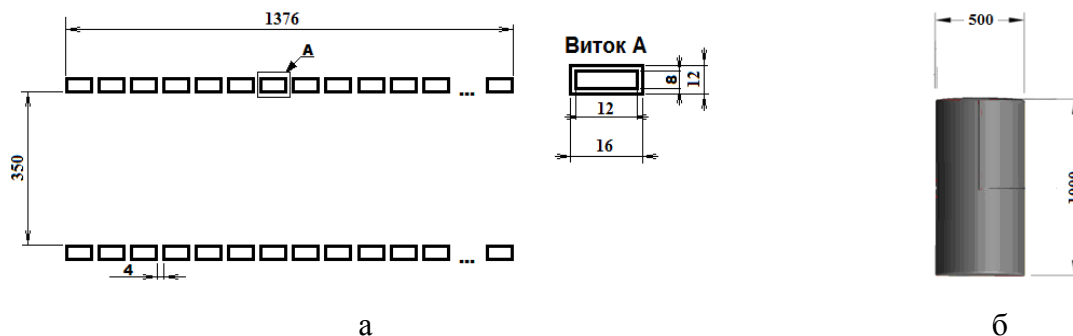


Рис. 1. Конструктивные параметры индуктора и заготовки (в мм):
а – геометрия индуктора; б – геометрия заготовки

Конечно-элементный анализ взаимосвязанных электромагнитных и тепловых полей проводится на базе специализированного пакета FLUX (Cedrat), в котором разработана численная двумерная электротепловая модель [11-12].

Ограничение на управляющее воздействие $u(t)$ задается в простой форме допустимых границ $u_{\min} = 0$ и $u_{\max} = 470В$ диапазона его возможного изменения, в пределах которого управление может изменяться произвольным образом.

Поскольку решение задачи (12) оптимального по точности нагрева управления определяется однозначным образом по решениям ряда задач оптимального быстрогодействия для различных значений ε , полученные ниже алгоритмы управления являются оптимальными одновременно по двум рассматриваемым критериям (5) и (6).

Задача оптимального по быстродействию и максимальной точности нагрева управления была решена для трех различных значений точности нагрева: $\varepsilon_{\min}^{(1)}$, $\varepsilon_{\min}^{(2)}$ и $\varepsilon_{\min}^{(2)} < \varepsilon_0 < \varepsilon_{\min}^{(1)}$.

Соответствующие расчетные системы уравнений для каждого из рассматриваемых случаев точности описаны в литературе [1, 2].

В результате решения систем уравнений, в которых зависимости $T(r, l, \Delta)$ от r , l и Δ рассчитываются по описанной выше численной двумерной электротепловой FLUX модели, получены основные параметры оптимальных по быстродействию и точности нагрева процессов управления, представленные в табл. 1: значения точности нагрева для каждого из рассмотренных случаев $\varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(1)}$, $\varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(2)}$ и $\varepsilon_{\min}^{(2)} < \varepsilon = \varepsilon_0 < \varepsilon_{\min}^{(1)}$, длительности Δ_1^0 и Δ_2^0 интервалов нагрева и выравнивания температур, расход энергии $E_{\text{инд}}$ на нагрев заготовки [13].

Задача на минимум расхода энергии также была решена для трех различных значений точности нагрева: $\varepsilon_{\min}^{(1)}$, $\varepsilon_{\min}^{(2)}$ и $\varepsilon_{\min}^{(2)} < \varepsilon = \varepsilon_0 < \varepsilon_{\min}^{(1)}$.

Результаты решения модельных ЗОУ

	Расчетные параметры оптимальных по быстродействию и точности ПИНМ				Расчетные параметры оптимальных по энергосбережению ПИНМ			
	$\varepsilon, ^\circ\text{C}$	$\Delta_1^0, \text{сек}$	$\Delta_2^0, \text{сек}$	$E_{\text{инт}}, \text{МДж}$	$\varepsilon, ^\circ\text{C}$	$\Delta_1^0, \text{сек}$	$\Delta_2^0, \text{сек}$	$E_{\text{инт}}, \text{МДж}$
$\varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(1)}$	85	1552	-	228,8	85	1430	179	207,9
$\varepsilon_{\min}^{(2)} < \varepsilon < \varepsilon_{\min}^{(1)}$	50,8	1640	45	243,4	39,1	1610	164	238,29
$\varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(2)}$	25,4	1665	158	247,67	25,4	1665	158	247,67

В данной задаче для всех трех значений точности нагрева, согласно альтернансному методу, оптимальное управление $u_{\text{опт}}(t)$ является двухинтервальным. Соответствующие системы уравнений для каждого из рассматриваемых случаев точности описаны в литературе [1-2].

Результаты решения задачи на минимум расхода энергии, полученные с помощью численной FLUX модели, представлены в таблице [13].

Можно доказать [1-2], что при $\varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(2)}$ полученный алгоритм оптимального управления является универсально-оптимальным, т.е. оптимальным по всем трем рассматриваемым критериям (5)-(7).

На рис. 4 представлено температурное распределение по объему заготовки для значения точности $\varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(2)}$, при которой рассчитанный алгоритм управления является универсально-оптимальным [13].

Заключение

В работе сформулированы ЗОУ процессом периодического индукционного нагрева цилиндрических заготовок по критериям быстродействия, точности нагрева и минимума энергопотребления для трех различных значений точности нагрева заготовки. Исходные задачи сводятся к задачам математического программирования, которые решаются на базе альтернансного метода оптимизации ОРП. Анализ рассчитанных оптимальных процессов показывает, что при переходе от оптимальных по быстродействию алгоритмов управления к алгоритмам, оптимальным по расходу энергии, достигается увеличение выигрыша по расходу энергии при уменьшении точности нагрева. При предельно достижимой в классе двухинтервальных управлений точности нагрева полученный алгоритм оптимального управления является оптимальным по всем трем рассматриваемым критериям.

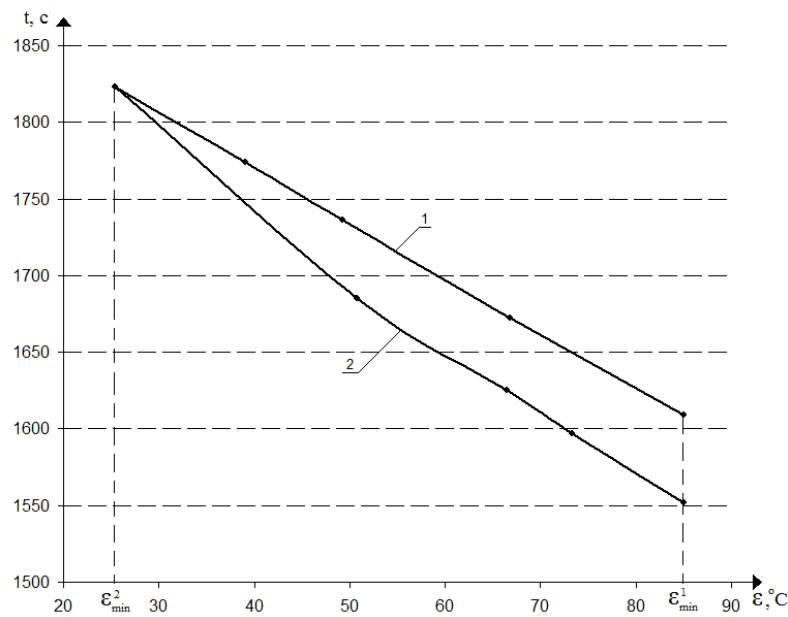


Рис. 2. Зависимость длительности процесса от точности нагрева при $\varepsilon_{\min}^{(2)} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\min}^{(1)}$:
1 – в задаче на минимум энергопотребления; 2 – в задаче оптимального быстрогодействия

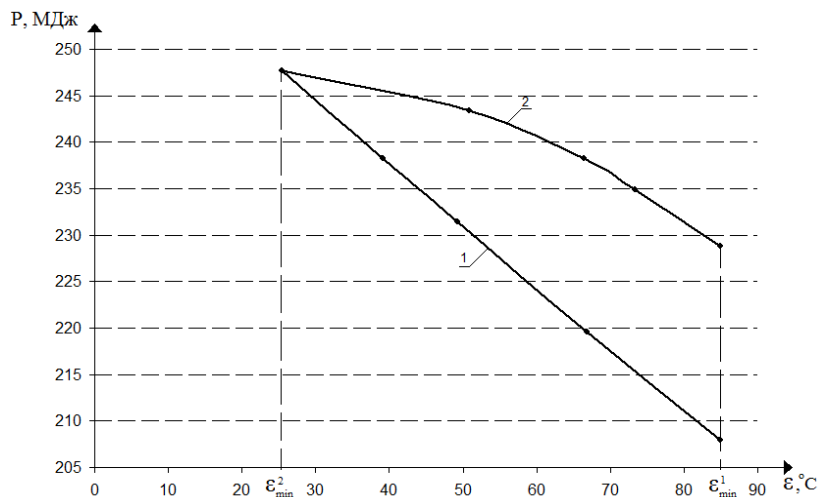


Рис. 3. Зависимость расхода энергии от точности нагрева при $\varepsilon_{\min}^{(2)} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\min}^{(1)}$:
1 – в задаче на минимум энергопотребления; 2 – в задаче оптимального быстрогодействия

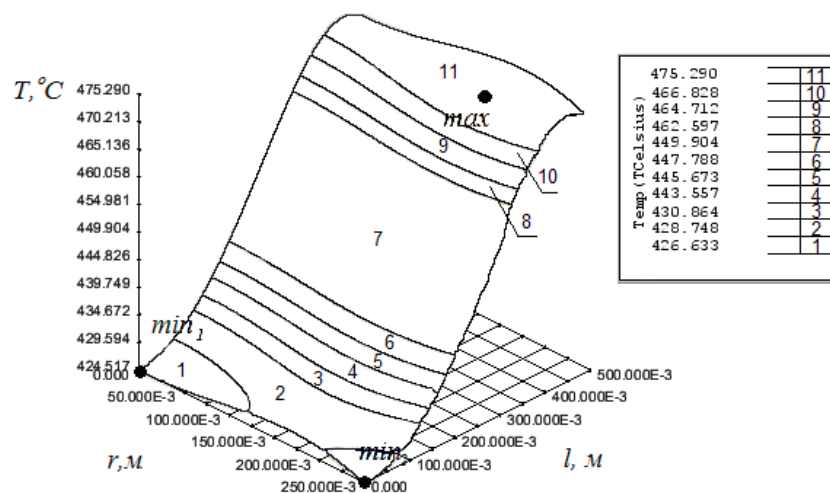


Рис. 4. Температурное поле по объему заготовки в конце оптимального по быстродействию, точности и расходу энергии процесса нагрева для значения точности $\varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(2)}$

Список литературы

1. Rapoport E., Pleshivtseva Yu. Optimal Control of Induction Heating Processes. – London, N.Y.: CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, 2007. – 349 p.
2. Рапопорт Э.Я., Плешивцева Ю.Э. Оптимальное управление температурными режимами индукционного нагрева. – М: Наука, 2012. – 309 с.
3. Рапопорт Э.Я., Плешивцева Ю.Э. Оптимальное управление нелинейными объектами технологической теплофизики // Автометрия, 2012. Т.48. №5. С. 3-13.
4. E.Ya. Rapoport, Yu.E. Pleshivtseva. Optimal Control of Nonlinear Objects of Engineering Thermophysics // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2012. – Vol. 48. – No 5. – pp. 429-437.
5. Рапопорт Э.Я. Оптимальное по быстродействию управление нелинейными объектами технологической теплофизики / Э.Я. Рапопорт// Элементы и системы опт. идент. и упр. технолог. процессом. – Тула, 1996. – С.81 – 91.
6. Шарапова О.Ю. Численное моделирование и оптимальное управление процессами индукционного нагрева цилиндрических заготовок под обработку давлением: Автореф. дисс... канд. техн. наук. – Самара, 2011. – 22 с.
7. Плешивцева Ю.Э., Рапопорт Э.Я. Метод последовательной параметризации управляющих воздействий в краевых задачах оптимального управления системами с распределенными параметрами // Известия РАН. Теория и системы управления, 2009. №3. С. 22-33.
8. Рапопорт Э.Я., Плешивцева Ю.Э. Алгоритмически точный метод параметрической оптимизации в краевых задачах оптимального управления системами с распределенными параметрами // Автометрия, 2009. т.45. №5. С. 103-112.
9. Yu.E.Pleshivtseva, E.Ya. Rapoport The Successive Parametrization Method of Control Actions in Boundary Value Optimal Control Problems for Distributed Parameter Systems // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2009. – Vol. 48. – No 3. – PP. 351-362.
10. E.Ya. Rapoport, Yu.E.Pleshivtseva. Algorithmically Precise Method of Parametric Optimization in Boundary-Value Optimal Control Problems for Distributed Parameter Systems // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2009. – Vol. 45. – No 5. – pp. 464-471.
11. Плешивцева Ю.Э., Шарапова О.Ю. Энергосберегающие алгоритмы оптимального управления процессами индукционного нагрева// Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». – Самара: СамГТУ, 2011, № 4 (32), С. -172-180.
12. Шарапова О.Ю. Численное моделирование процесса периодического индукционного нагрева на базе конечно-элементного программного пакета FLUX / О.Ю. Шарапова // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2011. – №7 (28). – С. 180 – 185.
13. Плешивцева Ю.Э., Попов А.В., Дьяконов А.И. Двумерная задача оптимального по типовым критериям качества управления процессом сквозного индукционного нагрева//Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки: – Самара: СамГТУ, 2014, №2(42). – С.148-163.

ОСОБЕННОСТИ РАКЕТНОГО РАДИОКАНАЛА

Поленов Д.Ю.

инженер ОАО «НПО ИТ» Королев,
Россия, г. Королев

В статье рассмотрена схема передачи информации по каналу борт-Земля на примере организации радиосвязи приемно-регистрирующих средств с РН тяжелого класса

«Протон-М», приведены основные факторы, дестабилизирующие радиоканал, и описано их влияние на связь. Указаны существующие, а также перспективные методы модуляции несущей частоты, применяемые на изделиях ракетной техники. Рассмотрены подходящие для организации радиосвязи диапазоны радиоволн, а также влияние плазмы на распространение радиосигнала.

Ключевые слова: ракетный радиоканал, телеметрия, методы модуляции, радиосвязь.

При рассмотрении основных особенностей передачи информации с ракет-носителей (РН) по радиоканалу, специалисты зачастую останавливаются на следующих вопросах:

- особенности среды распространения радиоволн;
- влияние помех (кратковременное пропадание сигнала, появляющееся при старте РН, разделении ступеней и т.п.) на радиосигнал;
- влияние плазмы на распространение радиосигнала.

Суммарное воздействие приведенных, а также других дестабилизирующих радиоканал факторов выражается в скачкообразном понижении уровня принимаемого сигнала на 40...50 дБ или его полном пропадании. Изменение уровня радиосигнала на входе приемника телеметрической станции приводит к увеличению погрешности измерений.

Активный участок полета РН характеризуется более высокой (по сравнению с орбитальным полетом) возможностью аварийного исхода полета. Активный участок характерен высоким потенциалом радиолинии (ввиду относительно малой дальности связи), кратковременным пропаданием связи на «особых участках» (например, при разделении ступеней) и вытекающим из этого требованием к системе синхронизации бортовой радиотелеметрической системы (БРТС).

Основные принципы радиосвязи базируются на использовании радиоволн в качестве передающей среды (рис. 1).



Рис. 1. Схема радиосвязи РН

Свойства радиоволн зависят от источника, а также от среды, в которой они распространяются. Соответственно, вся система радиосвязи зависит от параметров окружающей среды и её свойств, например, наличия гор, возвышенностей, огромных отражателей в виде зданий, состояния атмосферы.

Активный участок РН тяжелого класса «Протон-М» достигает высоты 150...200 км от поверхности Земли. На своем пути РН пересекает три слоя атмосферы [1]. К ним относятся тропосфера (примерно 10 км от поверхности

Земли), стратосфера (примерно 50 км от поверхности Земли) и ионосфера (до 400 км от поверхности Земли) [2, с. 34].

На распространение радиоволн с передатчиков РН свойства тропосферы и стратосферы практически не оказывают влияния, а ионосфера может заметно повлиять на данный процесс. Воздух в ионосфере сильно разрежен. Под действием солнечных излучений из атомов газов выделяется много свободных электронов, в результате чего появляются положительные ионы. Происходит ионизация данного слоя атмосферы. Ионизированный слой способен поглощать радиоволны и искривлять их путь.

При выборе диапазона радиоволн, применяемых для распространения радиосигналов с передатчиков РН, остановились на ультракоротковолновом (УКВ) диапазоне. Ультракороткие волны по своим свойствам наиболее близки к световым лучам. Они распространяются прямолинейно и сильно поглощаются землей, растительным миром, зданиями и сооружениями, различными предметами. Уверенный прием сигналов УКВ станции возможен, главным образом, когда между антеннами передатчика и приемника можно мысленно провести прямую линию (рис. 2). В связи с этим для запусков РН полигоны строят на равнинных участках земной поверхности. Ну, а наиболее выгодное положение космодрома – на экваторе, чтобы стартующий носитель мог наиболее полно использовать энергию вращения Земли. РН при запуске с экватора может сэкономить около 10 % топлива по сравнению с ракетой, стартующей с космодрома, находящегося в средних широтах. Соответственно, тот же носитель может вывести на целевую орбиту большую полезную нагрузку.

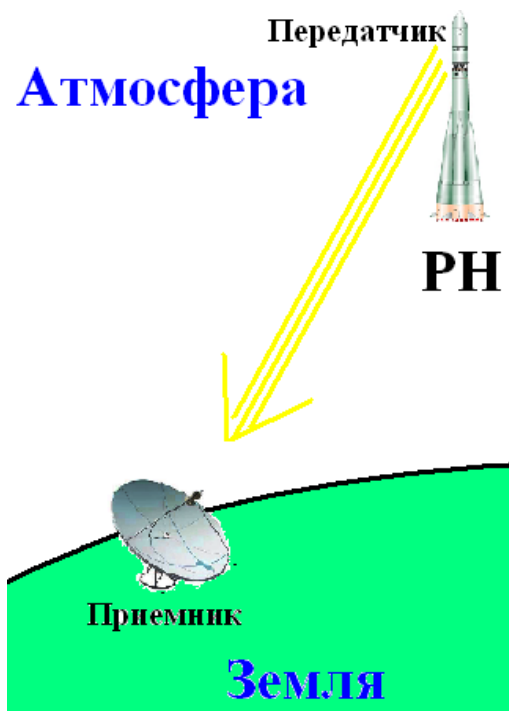


Рис. 2. Прямолинейное распространение сигналов УКВ

Существуют определенные стандарты, в которых описаны требования для передатчиков и приемников систем телеизмерений. Они устанавливают

следующие рабочие диапазоны частот для ультракоротких волн: 216-260 МГц, 1435-1535 МГц, 2200-2300 МГц. Таким образом, для передачи телеизмерений на активном участке РН могут применяться как метровые (М), так и дециметровые (Д) волны.

Применение метровых волн при отработке РН позволяет реализовать на корпусе РН бортовое антенно-фидерное устройство (АФУ) с широкой диаграммой направленности (ДН), близкой в ряде случаев, к полусфере, что особенно необходимо на начальном этапе отработки ракеты, когда высока вероятность отклонения от заданной траектории полета. Для надежного получения телеметрической информации на всей траектории полета РН необходимо обеспечить прямую линию связи бортовой и наземной антенн, что значительно легче выполнить при широкой ДН бортовой антенны. Наряду с АФУ метрового диапазона, при испытаниях ракет широко применяются и антенны дециметрового диапазона. Их преимущества перед метровыми диапазонами состоят в следующем.

1. В дециметровом диапазоне легче реализовать направленные антенны: если в М-диапазоне коэффициент направленного действия (КНД) составляет от 0,1 до 1,5, то в Д-диапазоне КНД может составлять от 1 до 10 и более.

2. Направленные АФУ обеспечивают максимальную дальность действия, которая пропорциональна коэффициенту усиления антенны.

3. В Д-диапазоне ниже атмосферные шумы.

4. Радиоволна Д-диапазона проходит через факел ракеты и ионизированные слои атмосферы с меньшим затуханием, но АФУ этого диапазона имеет более острую ДН в сравнении с М-диапазоном.

Преимущества Д-диапазона реализуют, как правило, в радиолиниях космических объектов (спутники, космические корабли и т.п.) с заранее известными траекториями полета.

На РН довольно часто используют Д-диапазон параллельно с М-диапазоном – одна и та же информация передается по двум радиоканалам (два передатчика и две антенны на М- и Д-диапазон). Наземная приемная станция обеспечивает прием радиопотоков обоих диапазонов и осуществляет автоматический выбор лучшего сигнала с последующей записью принятой информации на ЭВМ.

Основная задача ракетной телеметрии на этапе проведения летных испытаний новых ракет состоит в том, чтобы, в случае аварийного исхода испытаний получить объем данных, достаточный для выяснения причины аварийного исхода испытаний и принятия решения о проведении доработок, в дальнейшем исключающих повторение аварии по этой причине.

В идеальном варианте последствия аварийной ситуации на изделии не должны сказываться на ухудшении качества получения данных телеметрии. По возможности, следует напряжение питания бортовой телеметрии выполнять автономным и независимым от напряжения питания контролируемых объектов изделия, в том числе – независимым от напряжения питания бортовой системы управления изделием. В противном случае, при пожаре, при коротком замыкании в цепях бортового питания системы управления будет

нарушено бортовое питание телеметрической системы, данные телеизмерений не будут получены, а причина аварии останется невыясненной.

При осуществлении передачи радиосигнала важнейшим является вопрос выбора метода модуляции несущей частоты передатчика телеметрической системы (ТС). В нашей стране достаточно распространено применение следующих видов модуляции: АИМ/КИМ-ЧМ (применяется на изделиях «Протон-М», «Синева», «Тополь-М», «Сатана»), ФМ («Булава», «Тополь-М»), ЧМНФ с обкаткой (РБ «Бриз», РБ «Фрегат»), ЧМ («Союз-2»). Радиолиния, использующая модуляцию АИМ/КИМ-ЧМ, является аналогово-цифровой, что, в свою очередь, имеет свои плюсы, но и недостатки. Здесь используется телеметрический кадр «Скут», применяются передатчики с М- и Д-диапазонами частот. Информативность подобной системы не превышает 1024 тыс.изм./с. Данная система постепенно отходит в тень существующих ТС, например, «Орбиты» с максимальной информативностью 3,14 Мб/с. В ТС «Орбита» применяется ФМ-модуляция. ТС «Орбита» является цифровой, а, как известно, в ФМ-модуляции фазы излучения двоичных сигналов «0» и «1» удалены друг от друга на максимально возможное расстояние, что повышает помехоустойчивость. Следовательно, данная модуляция является эталонной по помехоустойчивости в условиях космической связи (т.е. когда «особые участки» отсутствуют). Однако передатчики с данным видом модуляции имеют более широкий спектр излучения, чем передатчики с другими видами (например, ЧМ). В связи с общеизвестными недостатками ФМ были проведены теоретические исследования данного вида модуляции и предложена модуляция ЧМНФ – частотная модуляция с непрерывной фазой. По помехоустойчивости ЧМНФ не уступает ФМ-модуляции, а по ширине излучаемого спектра превосходит конкурента. При анализе американского стандарта телеметрии IRIG выяснено, что наши коллеги уже давно определили лучший метод модуляции для работы с изделиями ракетно-космической техники (РКТ) и взяли за основу модуляцию «ЧМНФ с обкаткой» с индексом модуляции, равным 0,7 [3].

Одним из преимуществ ЧМНФ-передатчиков является использование данных устройств во всех диапазонах ракетной радиотелеметрии (М- и Д-диапазонах). Также ЧМНФ-передатчики совместимы с ЧМ-приемниками (такая совместимость не является оптимальной, в связи с чем рекомендуется использовать ЧМНФ-приемник), но несовместимы с ФМ-приемниками.

Серьезной проблемой при передаче радиосигнала с борта РН является нахождение изделия в создаваемой вокруг него плазменной оболочке. Характеристики плазмы, такие как толщина плазменного слоя и критическая частота, зависят от скорости движения РН, а также расстояния от поверхности Земли и формы РН, в частности, его головной части. Острая головная часть (ГЧ) положительно влияет на частоту плазменного слоя, т.е. уменьшает её, но, к сожалению, такая форма легко нагревается. Наиболее типичной является обтекаемая форма ГЧ. Передача радиосигнала через плазму зависит от угла, под которым пересекается плазменный слой, частоты, мощности, характеристик бортовых антенн, параметров модуляции и расположения ан-

тенны на борту РН. Наличие плазмы вызывает изменения входного сопротивления антенн, искажает ДН и вносит изменения в поляризацию.

Резонансная частота плазмы – плазменная частота – является постоянной, характеризующей плазменную среду. Когда частота радиосигнала приближается к плазменной частоте, то сигнал подвержен значительным искажениям. Поэтому при выборе частоты работы передатчиков необходимо брать в расчет и возможную плазменную частоту. Для правильного выбора рабочей частоты должны быть известны распределение плотности электронов вдоль РН и частота столкновения электронов вдоль всей траектории движения РН. Предпочтительны более высокие частоты. На частотах свыше 15000 МГц возможно поглощение сигнала в водяных парах и атмосферном кислороде. А частоты от 5000 МГц до 33000 МГц достаточно хорошо проникают через оболочку плазмы. Однако указанные частоты радиоволн относятся уже к сантиметровым и миллиметровым диапазонам.

Помимо выбора высокой несущей частоты, существуют и другие способы улучшения прохождения сигнала через плазму. Можно либо удалить, либо изменить ионную оболочку. Данные технические приемы включают увеличение числа столкновений электронов, изменение области удара путем инъекции вещества, обладающего химическим сходством с электронами в плазме, применение статических магнитных или электрических полей для уменьшения ослабления, химической нейтрализации для уменьшения концентрации электронов и охлаждения частей РН, расположенных вблизи от бортовых антенн.

Таким образом, при работе с ракетным радиоканалом разработчик ТС должен исследовать:

- особенности среды распространения радиоволн и выбрать подходящий диапазон, в котором будет осуществляться радиопередача;
- влияние помех на радиосигнал, при этом необходимо рассмотреть возможность применения помехоустойчивого восстанавливающего кодирования в случае работы изделия в зашумленном радиоканале;
- влияние плазмы на распространение радиосигнала, если такое явление присутствует.

Список литературы

1. Атмосфера Земли [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосфера_Земли
2. Борисов В.Г. Юный радиолюбитель [Текст] / В.Г. Борисов. – М.: Энергия. – 2011. – 472 с.
3. Telemetry Group. TELEMETRY STANDARDS [Электронный ресурс] – Режим доступа. URL: <http://www.irig106.org/docs/106-09/>

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ПАНКРАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТИВА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА

Поспехов В.Г.

доцент кафедры РЛ-2 «Лазерные оптико-электронные системы»
Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана,
канд. техн. наук, доцент,
Россия, г. Москва

Крюков А.В.

доцент кафедры РЛ-2 «Лазерные оптико-электронные системы»
Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана,
канд. техн. наук,
Россия, г. Москва

Рассмотрены габаритный расчёт и оценка качества изображения малогабаритного панкратического объектива перископического типа. Исследованы свойства структурной схемы на основе двухгрупповой системы переменного увеличения из положительной и отрицательной подвижных групп. Выявлены особенности использования такой схемы для сокращения продольных габаритов объектива, что принципиально важно для камер мобильных телефонов.

Ключевые слова: панкратический объектив, схема перископического типа, объектив камеры мобильного телефона, система переменного увеличения, модуляционная передаточная функция.

В настоящее время мобильные телефоны стали конкурировать с цифровыми камерами в области фоторегистрации различных событий. Сообщается, что в 2011 году 27 % фотографий было сделано с помощью мобильных телефонов [5]. Различные направления совершенствования камер мобильных телефонов подробно рассматриваются в источниках [1,5]. Такой переворот в мобильной фотографии, произошедший в последние несколько лет, является результатом внедрения современных технологий регистрации подвижных изображений при различных условиях освещённости объектов.

К числу последних относится технология *HDR* (от англ. *High Dynamic Range* – расширенный динамический диапазон), при которой создаются и накладываются друг на друга несколько снимков одной и той же сцены, полученные с различными выдержками. В результате получаются качественные фотографии без «провалов» в тенях и «пересветов» даже в условиях контрольного света. Ключевым моментом является использование в камерах мобильных телефонов мегапиксельных *BSI-CMOS* сенсоров, позволяющих создавать фотографии при низких уровнях освещённости объектов. В течении последних десяти лет размерность сенсоров камер мобильных телефонов дошла до 16 Мп, а некоторых до 38 Мп (камера *Nokia Pure View 808*). *CMOS* сенсоры *FSI* типа (*Front Side Illumination*), используемые ранее, формируют изобра-

жение после прохождения света через промежуточные слои, которые частично отражают и ограничивают апертуру пучка лучей. Новый тип CMOS сенсоров *BSI (Back Side Illumination)*, у которых многослойная структура перевернута и пучок лучей света, формирующий изображение, сразу попадает в активную область пикселей, имеют более высокую квантовую эффективность, формируют качественное изображение при низких освещенностях. Кроме высокоразрешающих сенсоров камеры современных мобильных телефонов поддерживают технологию *OIS (Optical Image Stabilization)* оптической стабилизации изображения. При этом в камеру встраивается включающая гироскоп система *MEM (Micro Electro Mechanical System)*, которая изменяет наклон или перемещает перпендикулярно оптической оси один из оптических элементов объектива. Считается, что сенсоры с числом элементов от 15 до 17 Мп при форматах матрицы от 1/2,4" до 1/3" позволяют создавать высококачественные изображения.

При этом важным фактором, определяющим качество изображения, является объектив камеры, его оптические характеристики (фокусное расстояние, угловое поле, относительное отверстие), которые у большинства камер мобильных телефонов постоянные, что ограничивает их возможности при регистрации разноудаленных объектов. В настоящее время для расширения фотографических возможностей камер мобильных телефонов ряд фирм предлагает съёмные оптические насадки телескопического типа с увеличением $\Gamma=0,67^{\times}$ и $\Gamma=1,5^{\times}$. Первый тип насадки, который обычно маркируется как *Fish-eye lens*, уменьшает фокусное расстояние в $0,67^{\times}$ и увеличивает угловое поле до $2\omega=100^{\circ}..140^{\circ}$ в зависимости от углового поля основного объектива камеры мобильного телефона. Второй тип насадки с увеличением $\Gamma=1,5^{\times}$ увеличивает фокусное расстояние и уменьшает угловое поле в полтора раза. Насадки крепятся к корпусу телефона клип кольцом или за счёт намагничивания. Кроме насадок с постоянными оптическими характеристиками рядом фирм предлагаются насадки, у которых увеличение изменяется в пределах от $6^{\times}$ до $12^{\times}$, однако, как правило, они имеют значительные габариты и закрепляются вместе с телефоном на штативе. Недостаток заключается в необходимости носить с собой насадки, а также в ненадёжности их крепления. Компания *Samsung* в линейке своих флагманских телефонов модели *Galaxy S* предлагает телефон *Galaxy S5 Zoom (Galaxy S6 Zoom)*, оснащённый полноценным панкратическим объективом с оправой телескопического типа. Недостатком такого решения является значительный вес и повышенные габариты устройства, превращающие его скорее в компактный фотоаппарат с функцией мобильного телефона.

Альтернативный путь улучшения камер мобильных телефонов – замена объектива с постоянными оптическими характеристиками на панкратический объектив, встроенный в камеру мобильного телефона. Проблема заключается в том, чтобы согласовать габариты объектива с габаритами мобильного телефона, а его качество с характеристиками CMOS сенсора. Современная уль-

тропиксельная технология *SMOS* сенсоров позволяет при размере сенсора 1/2,4" получить размер пикселя 1-2 мкм. Для согласования качества объектива со *SMOS* сенсором требуется на частотах 180-250 мм⁻¹ обеспечить контраст 0,4-0,5. Малая толщина мобильных телефонов (9-10 мм) делает невозможным применение традиционной схемы построения и размещения объектива, при которой оптическая ось объектива направляется перпендикулярно корпусу, так как длина известных схем панкратических объективов в несколько раз превышает толщину мобильного телефона. Считается, что более перспективными являются схемы перископического типа, у которых первая группа включает призму, отклоняющую оптическую ось на 90° перпендикулярно корпусу телефона [2]. Некоторые из схем такого типа рассмотрены в источниках [3,4,6,7].

Структурно оптические схемы перископического типа, как правило, включают четыре группы, первая и последняя из которых неподвижные, а вторая и третья группы образуют систему переменного увеличения (СПУ) и перемещаются вдоль оптической оси для изменения фокусного расстояния. Отличия схем объективов заключаются в типе СПУ и знаке оптической силы первой неподвижной группы. Особенности построения объектива, первая неподвижная группа которого имеет отрицательную оптическую силу, а СПУ включает две положительные группы (тип А), рассмотрены в источниках [3,7]. Другая структурная схема, базирующаяся на первой неподвижной группе положительной оптической силы и СПУ из отрицательной и положительной групп (тип Г), рассмотрена в источнике [4]. Следует отметить, что применение СПУ типа В с первой положительной и второй отрицательной подвижными группами в схеме панкратического объектива перископического типа мало изучено. Свойства СПУ типа В при условии $\beta > 0$ частично рассмотрены при построении панкратических окуляров [8].

Исследования свойств СПУ типа В в области габаритного расчета

В данной работе будут рассмотрены вопросы выбора параметров СПУ типа В и построения оптической схемы панкратического объектива перископического типа на этой основе. На рисунке 1 показан ход осевого луча в СПУ

типа В при $L > 0$, $\beta < 0$, $K = \frac{f'_1}{f'_2} < 0$, $f'_2 < 0$, где L – длина СПУ, β – линейное

увеличение СПУ, $K = \frac{f'_1}{f'_2}$ – отношение фокусных расстояний f'_1 и f'_2 первой

и второй групп СПУ, d – расстояние между группами СПУ.

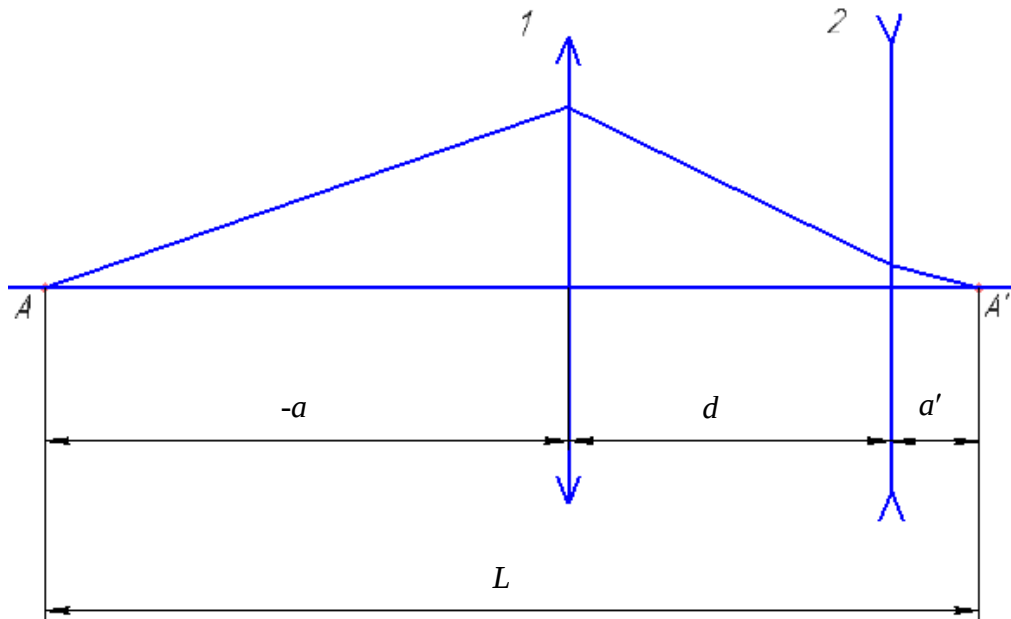


Рис. 1. Ход осевого пучка лучей в СПУ типа В

Для расчёта взаимного положения групп при изменении линейного увеличения можно использовать формулы, приведенные в работе [8]. Особенность расчёта заключается в выборе параметров L , K и f'_2 , причём при выборе данных параметров возможны случаи отсутствия решения для линейных увеличений β_1 и β_2 , значения которых являются корнями уравнения

$$\beta^2 + \beta \left(\frac{K+1}{K} \frac{L}{f'_2} - \frac{0,25L^2}{Kf'^2_2} - 2 \right) + 1 = 0, \text{ и получены из условия } \sqrt{D} = 0.$$

Предельные значения параметров двухгрупповых СПУ типа В (при $L > 0$, $\beta < 0$, $K = \frac{f'_1}{f'_2} < 0$, $f'_2 < 0$) могут быть получены из условий $\sqrt{D} = 0$,

$d_{\text{ext}} = 0,5L$ (при $\beta_{\text{ext}} = -1$), которые приводят к соотношению $f'_2 = \frac{L}{4K}$, а также из условий $\sqrt{D} = 0,5L$, $d_{\text{ext}} = 0$ (при $\beta_{\text{ext}} = -1$), которые приводят к соотношению $f'_2 = \frac{K+1}{4K}L$.

На рисунке 2 нанесены гиперболы $f'_2 = \frac{K+1}{4K}L$ и $f'_2 = \frac{L}{4K}$, содержащие совокупность значений K , f'_2 (при $L=1$, $\beta < 0$), между которыми лежит область предпочтительных значений параметров, рекомендуемых при нахождении положения подвижных групп СПУ типа В при изменении линейного увеличения.

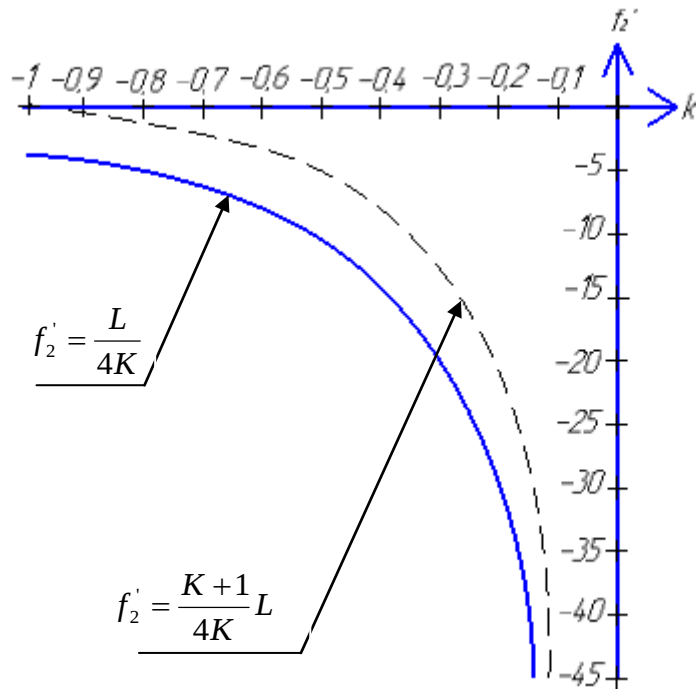


Рис. 2. Область предпочтительных значений K, f'_2 , ограниченная гиперболами

Гипербола $f'_2 = \frac{L}{4K}$ включает совокупность значений, представляющих собой максимальные значения (по абсолютной величине), при которых СПУ вырождается в систему постоянного увеличения при $\beta_{ext} = -1$, при других значениях увеличения решение уравнения для d отсутствует.

Исследование свойств СПУ типа В показали, что при определённом выборе параметров можно получить значительный отрезок a (расстояние от первой подвижной группы СПУ до точки объекта А) и допустимое значение отрезка a' (расстояние от второй подвижной группы СПУ до точки изображения А') при изменении линейного увеличения β . Это открывает возможность сократить габариты всего панкратического объектива, имеющего первую неподвижную группу отрицательной оптической силы, при условии согласования заднего фокального отрезка $-s'_{F'}$ этой неподвижной группы с отрезком $-a$ СПУ. Анализ структуры, габаритов и оптических характеристик ряда объективов такого типа [3,4,6] позволили сформулировать требования к СПУ: перепад увеличения $M = 2,5 - 4,5^x$, длина системы $L = 20 - 25$ мм.

Численные значения увеличений были определены из условия получения отрезка $-a$ СПУ не менее 11,5 мм (по абсолютному значению) на всём диапазоне изменения увеличения и отрезка a' СПУ не менее 1,3 мм путём выбора параметров K и f'_2 .

Для выбора оптимальных параметров K, f'_2 и β были выполнены расчёты значений d, a, a' для трёх областей зоны предпочтительных значений параметров K и f'_2 : $K = -0,9$ ($f'_2 = -6,2 \dots -5,0$); $K = -0,7$ ($f'_2 = -7,2 \dots -6,0$); $K = -0,5$ ($f'_2 = -10,2 \dots -9,0$). Некоторые из расчётов взаимного положения групп представлены в таблице.

Таблица

K	$f_2, \text{мм}$	β	$d, \text{мм}$	$a, \text{мм}$	$a', \text{мм}$
-0,9	-5,0	-0,2	9,902	-17,262	-2,164
		-0,4	4,851	-18,795	1,353
		-0,6	3,971	-17,418	3,612
		-0,8	3,689	-16,047	5,264
		-1,0	3,626	-14,861	6,513
		-1,2	3,668	-13,856	7,475
		-1,4	3,772	-13,002	8,226
		-1,6	3,916	-12,27	8,814
		-1,8	4,089	-11,637	4,089
		-2,0	4,284	-11,084	9,632
-0,7	-6,0	-0,2	8,049	-18,784	-1,833
		-0,4	3,681	-18,912	2,407
		-0,6	2,819	-17,113	5,068
		-0,8	2,541	-15,521	6,938
		-1,0	2,478	-14,215	8,307
		-1,2	2,520	-13,145	9,335
		-1,4	2,622	-12,259	10,119
		-1,6	2,764	-11,515	10,720
		-1,8	2,935	-10,882	11,183
		-2,0	3,127	-10,337	11,535
-0,5	-9,0	-0,2	-	-	-
		-0,4	4,115	-18,603	2,282
		-0,6	2,705	-16,680	5,616
		-0,8	2,266	-14,974	7,759
		-1,0	2,168	-13,611	9,221
		-1,2	2,234	-12,520	10,247
		-1,4	2,394	-11,633	10,972
		-1,6	2,619	-10,900	11,481
		-1,8	2,890	-10,285	11,825
		-2,0	3,199	-9,760	12,040

На рисунках 3-5 представлены зависимости $d(\beta)$, $a(\beta)$ и $a'(\beta)$. Сплошные линии соответствуют зависимостям при $K = -0,9 (f_2 = -5,0)$, штриховые – при $K = -0,7 (f_2 = -6,0)$, а пунктирные – при $K = -0,5 (f_2 = -9,0)$. Наилучшие значения параметров K , f_2 выбирались из условия получения максимального перепада увеличений M в диапазоне значений β , в котором численные значения отрезка $-a$ СПУ не менее 11,5 мм, а отрезка a' СПУ не менее 1,3 мм.

Выбор линейного увеличения β для оценки габаритных характеристик СПУ был основан на следующих ограничениях:

1) Минимальное увеличение $\beta_{\min}$ СПУ ограничено суммарным фокусным расстоянием всей оптической системы, которое линейно зависит от β СПУ, а также от допустимого значения отрезка a' СПУ (см. рисунок 5). Расчёты показали необходимость принять $\beta_{\min} = -0,4$.

2) Максимальное значение увеличения $\beta_{\max}$ СПУ ограничено величиной отрезка $-a$ СПУ, и как видно из рисунка 4, составляет $\beta_{\max} = -1,8 \dots -2,0$.

На основании результатов расчета можно сделать вывод о том, что уменьшение параметра K до значения $-0,5$ приводит к уменьшению значения $\beta_{\max}$, а следовательно к сокращению перепада увеличений.

Оптимальный вариант был выявлен при $K = -0,9$ и $f_2 = -5$, причём при уменьшении K до $K = -1$ положительных изменений по отношению к наилучшему варианту не обнаружено.

Проведенные расчёты позволили выбрать параметры СПУ объектива перископического типа для проведения дальнейшего параметрического синтеза с оптимизацией aberrаций объектива.

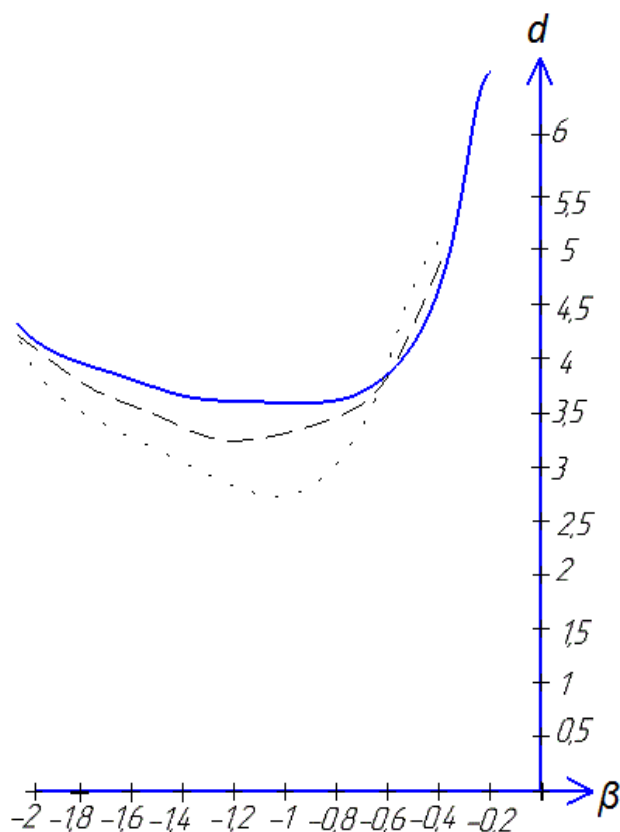


Рис. 3. Зависимость $d(\beta)$ при различных K

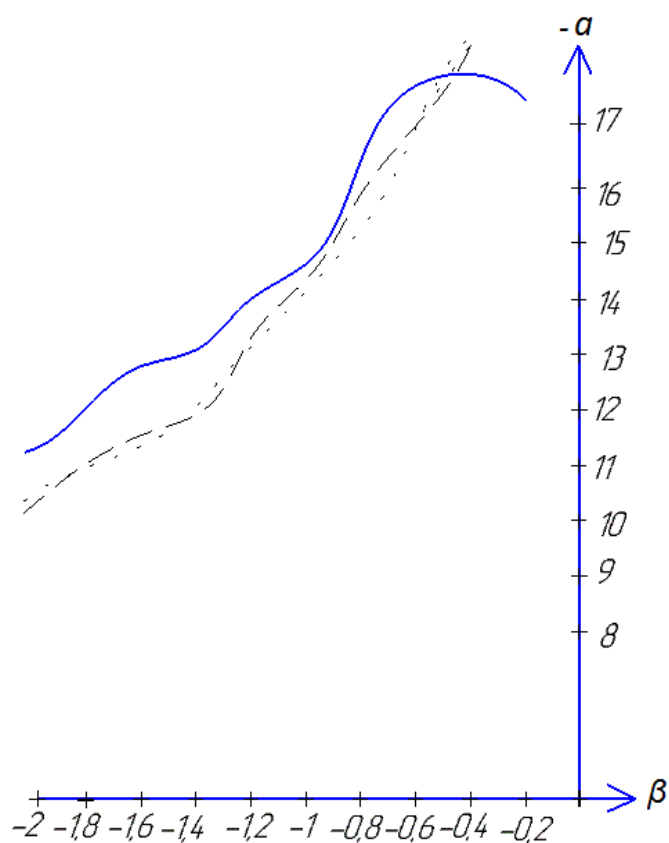


Рис. 4. Зависимость $-a(\beta)$ при различных K

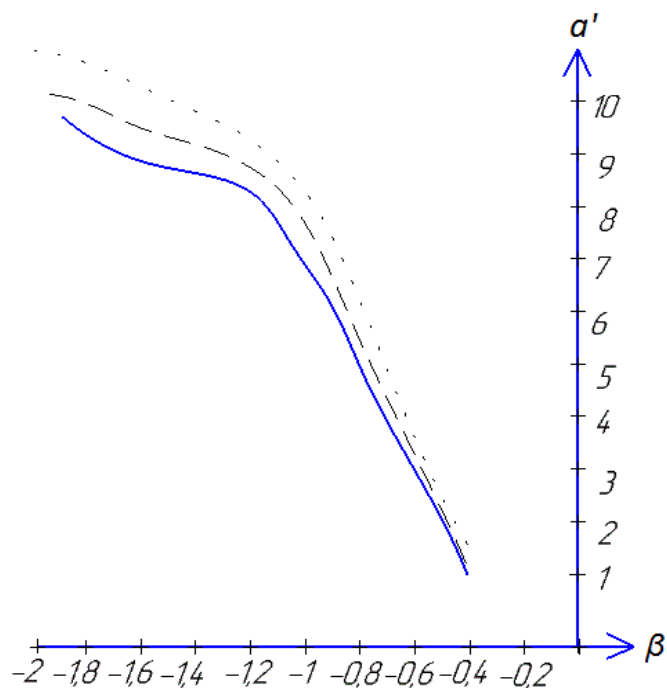


Рис. 5. Зависимость $a'(\beta)$ при различных K

Оценка результатов абберационного расчёта объектива

Для поиска оптимального решения панкратического объектива был проведен параметрический синтез его оптической схемы с применением процедуры оптимизации пакета прикладных программ *ZEMAX*®. Возможности программы позволяют проводить анализ и оптимизацию многоконфигурационных систем с использованием *Hammer* оптимизации с заме-

ной марок оптического стекла, а также выполнять комплексную оценку качества изображения по таким критериям, как среднеквадратический радиус пятна рассеяния и полихроматическая модуляционная передаточная функция (МПФ).

В результате проведенных исследований разработана оптическая схема малогабаритного панкратического объектива перископического типа высокого качества на диагональ кадра $2\gamma' = 5,6$ мм со следующими характеристиками: $f' = 3,8$ мм, $M = 2,6^{\times}$, D/f' изменяется от 1:3,5 до 1:5,8. Угловое поле изменяется от $2\omega = 72^{\circ}$ в широкоугольном положении (при $f' = 3,8$ мм) до $2\omega = 31^{\circ}$ в длиннофокусном положении (при $f' = 10,0$ мм). Диаметр первой линзы составляет $D_{св1} = 7,5$ мм, последней $D_{св20} = 6,6$ мм. Общая длина объектива составляет $L = 27,3$ мм, угол излома – 90° , длина объектива от точки излома оптической оси до плоскости изображения – 20 мм. Задний фокальный отрезок составляет $s'_{F'} = 1,24$ мм, разрешающая способность – 150 мм^{-1} . Оптическая схема одного из вариантов объектива приведена на рисунке 6.

Графики астигматических отрезков и дисторсии приведены на рисунке 7.

Из рассмотрения представленных на рисунке 7 графиков аберраций видно, что значения $z'_{\text{м}}$ астигматических отрезков в меридиональном сечении пучка не превышают $-0,25$ мм на всём диапазоне изменения фокусного расстояния, а значения $z'_{\text{с}}$ в сагиттальном сечении $-0,06$ мм соответственно. Дисторсия изменяется в пределах от $-5,0 \%$ в широкоугольном положении до $4,5 \%$ в длиннофокусном.

Более полное представление о качестве изображения дают модуляционные передаточные функции (МПФ), приведенные на рисунке 8.

Анализ МПФ показал, что на пространственной частоте 150 мм^{-1} контраст для точки на оси не опускается ниже $0,22$ на всем диапазоне изменения фокусного расстояния. Для точки вне оси контраст находится в диапазоне от $0,1$ до $0,4$ в зависимости от фокусного расстояния и углового поля объектива.

Высокого качества изображения удалось достичь за счет применения девяти асферических поверхностей преимущественно 12-го порядка.

Выводы

Таким образом, в статье рассмотрены этапы проведения габаритного расчета панкратического объектива, построенного на основании двухгрупповой СПУ типа В, состоящей из положительной и отрицательной групп. Использование такой СПУ совместно с первой неподвижной группой отрицательной оптической силы обеспечивает значительное сокращение продольных габаритов оптической схемы и позволяет рекомендовать такую схему для расширения функциональных характеристик камер мобильных телефонов, ноутбуков, нетбуков и планшетных компьютеров. Аберрационный анализ и оценка МПФ объектива, разработанного на основе синтезированной структурной схемы, подтверждает возможность использования полученного решения совместно с высокоразрешающими CMOS сенсорами последнего поколения.

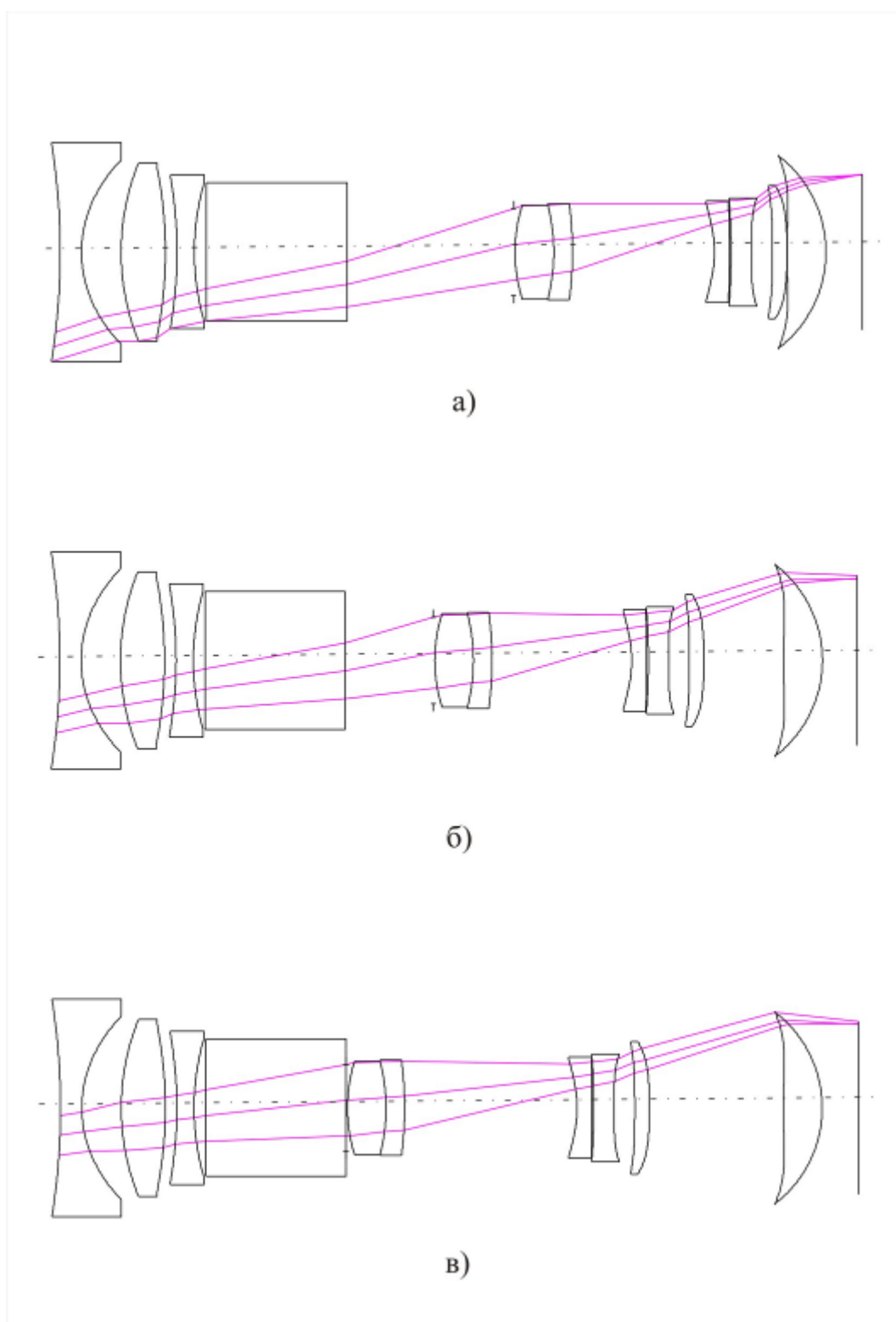
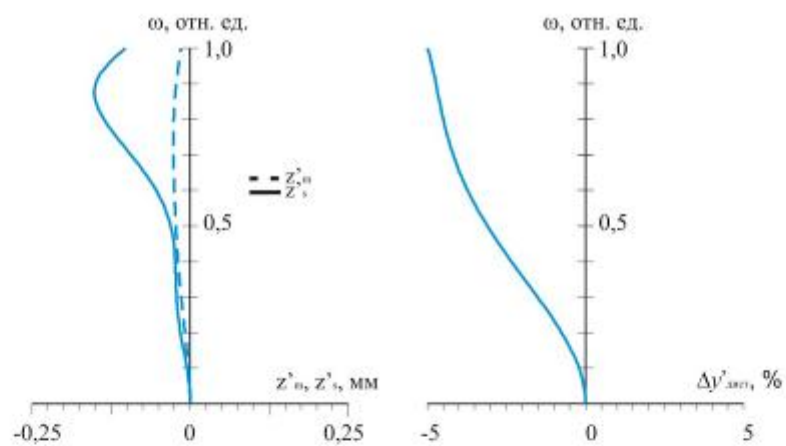
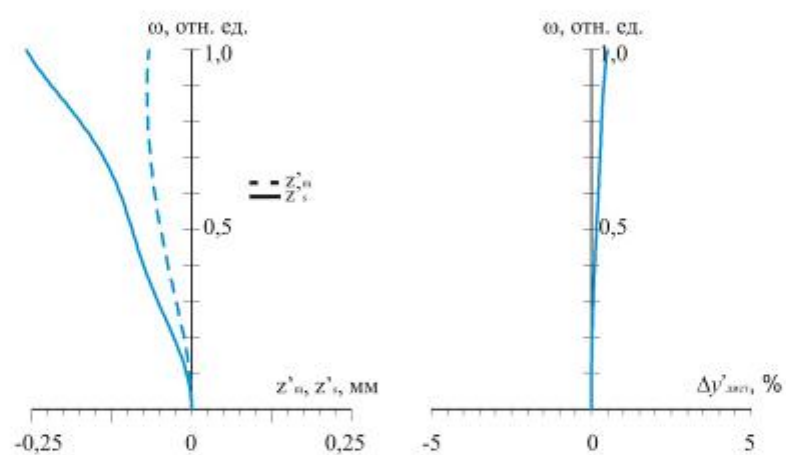


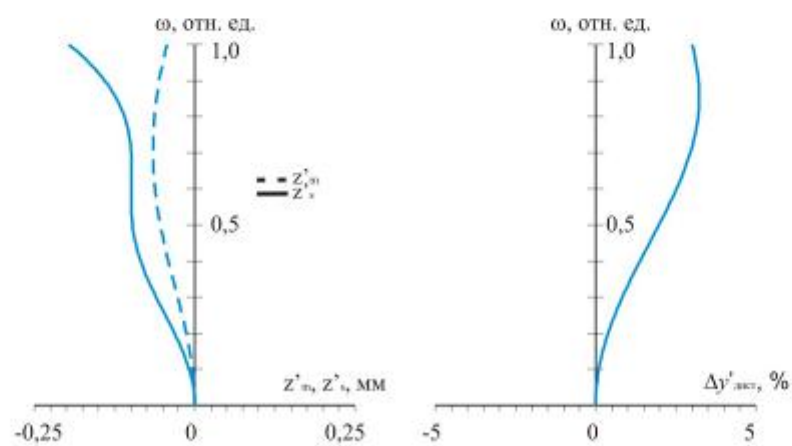
Рис. 6. Оптическая схема панкратического объектива
и положение подвижных групп СПУ типа В:
а) $f=3,8$ мм; б) $f=6,0$ мм; в) $f=10,0$ мм.



а)



б)



в)

Рис. 7. Аберрации главных лучей панкратического объектива с СПУ типа В:
а) $f=3,8$ мм; б) $f=6,0$ мм; в) $f=10,0$ мм.

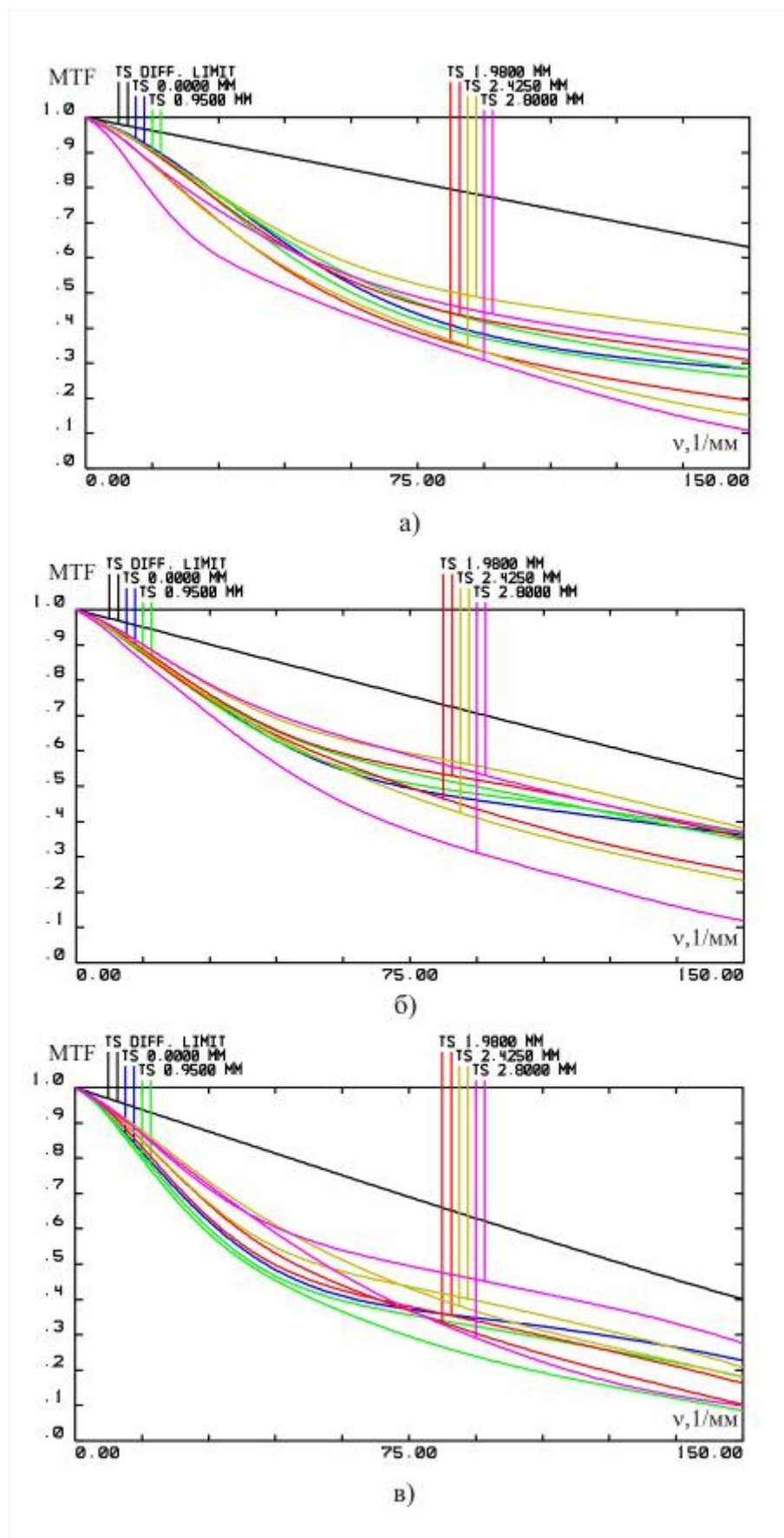


Рис. 8. Графики МПФ панхроматического объектива с СПУ типа В:
а) $f=3,8$ мм; б) $f=6,0$ мм; в) $f=10,0$ мм.

Список литературы

1. Klug, B. Understanding Camera Optics, Smartphone Camera Trends [Электронный ресурс] / Brian Klug. – Режим доступа: <http://www.anandtech.com/show/6777/understanding-camera-optics-smartphone-camera-trends>.
2. Matsusaka, K. Ultracompact optical zoom lens for mobile phone [Текст] / K. Matsusaka, Konica Minolta Co. // Proc. Of SPIE, vol. 6502, 650203-1...9.
3. Mihara, S. Electronic Image pickup system [Текст] / Shinichi Mihara, Hirocszu Konishi, Olympus Corporation JP // Patent No US 7436599 B2, oct. 14, –2008.
4. Mihara, S. Zoom lens and electronics imaging system using the same [Текст] / Shinichi Mihara, Olympus Corporation JP // Patent No US 7872807 B2 Jan. 18, – 2011.
5. Nair, L. An Analysis of Today's Smartphone Camera Technologies [Электронный ресурс] / Lenin VJ Nair. – Режим доступа: <http://www.bluebugle.org/2013/03/smartphone-camera-technology-analysis.html>.
6. Shinohara, Y. Zoom lens, imagings apparatus and mobile phone [Текст] / Yashicazu Shinohara Fujinon Corp. JP. // Patent No US 7940471 B2 May 10, – 2011.
7. Поспехов В.Г., Крюков А.В. Исследование и расчёт малогабаритного панкратического объектива перископического типа [Текст] / А.В. Крюков, В.Г. Поспехов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – №7(19). – С. 39.
8. Поспехов В.Г., Дягилева А.В. Габаритный и абберационный расчёт панкратических окуляров [Текст] / А.В. Дягилева, В.Г. Поспехов // Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва. – 2005. – 56 с.

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ГИБКОГО МАНИПУЛЯТОРА

Семенов К.Д.

аспирант кафедры эксплуатации машин и оборудования
Поволжского государственного технологического университета,
Россия, г. Йошкар-Ола

Медяков А.А.

доцент кафедры энергообеспечения предприятий Поволжского
государственного технологического университета, канд. техн. наук, доцент,
Россия, г. Йошкар-Ола

Каменских А.Д.

ассистент кафедры эксплуатации машин и оборудования
Поволжского государственного технологического университета,
Россия, г. Йошкар-Ола

Онучин Е.М.

доцент кафедры энергообеспечения предприятий Поволжского
государственного технологического университета, канд. техн. наук, доцент,
Россия, г. Йошкар-Ола

В статье обоснованы критерии эффективности и качества программного обеспечения системы управления гибким манипулятором машины, а так же рассмотрены требования к программному обеспечению.

Ключевые слова: гибкий манипулятор, программное обеспечение, систематизация управления, характеристика качества.

Для осуществления процесса работы гибкого манипулятора необходимо программное обеспечение. Учитывая ситуацию на рынке и большое количество программных продуктов, часто возникает ситуация, когда под конкретные задачи сложно подобрать готовое решение. Для того чтобы систематизировать управление гибким манипулятором, самым необходимым и оптимальным вариантом является разработка программного обеспечения. При разработке, возможно, учесть все замечания и пожелания, избежать ненужного функционала, обеспечить максимальную совместимость программного обеспечения с ранее установленным и его полноценную интеграцию.

Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 «Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению» качество программного обеспечения (software quality) – весь объем признаков и характеристик программной продукции, который относится к ее способности удовлетворять установленным или предполагаемым потребностям [1]. В контексте данного исследования вышеприведенное определение можно рассматривать как степень соответствия программного обеспечения системы управления гибким манипулятором пользовательским требованиям.

Стандарт ISO9126 [2] предлагает использовать для описания качества программного обеспечения многоуровневую модель. На верхнем уровне выделено шесть основных характеристик качества программного обеспечения. Каждая характеристика описывается при помощи нескольких входящих в нее атрибутов. Причем для каждого атрибута определяется набор метрик, позволяющих выполнить его качественную оценку. На рисунке показан набор характеристик согласно ISO9126.

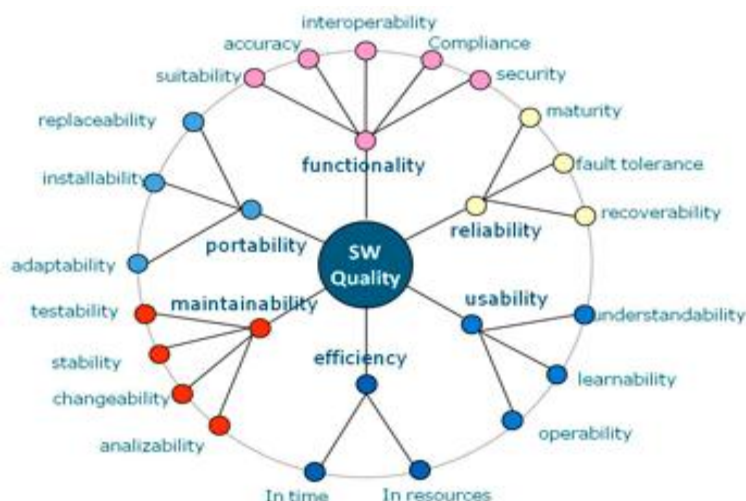


Рис. Характеристики качества программного обеспечения

Рассмотрим наиболее важные из представленных на рисунке 1 характеристик качества программного обеспечения применительно к системе управления гибким манипулятором:

а) Функциональность (functionality) – набор атрибутов, относящихся к сути набора функций и их конкретным свойствам [1]. Другими словами это способность программного обеспечения в определенных условиях решать задачи, нужные пользователям.

1) Функциональная пригодность (suitability) – способность решать нужный набор задач:

- взаимодействие с элементами контроля конфигурации манипулятора, контроля движения, в том числе обработка данных по результатам работы каждой из вышеприведённых систем;

- взаимодействие с оператором гибкого манипулятора через пользовательский интерфейс, включая вывод информации о текущем состоянии системы управления манипулятором;

2) Точность (accuracy) – способность выдавать нужные результаты:

- вероятность определения конфигурации положения сочленений манипулятора в результате обработки данных (>0.98);

- вероятность ошибки определения графа для перехода манипулятора в конфигурацию, обеспечивающую поворот звена манипулятора, (<0.02);

3) Способность к взаимодействию (interoperability) – способность взаимодействовать с другими системами;

4) Соответствие стандартным правилам (compliance) – соответствие программного обеспечения промышленным стандартам, нормативным и законодательным актам;

5) Защищенность (security) – способность предотвращать неавторизованный (т.е. без указания лица, пытающегося его осуществить) доступ к данным;

б) Надежность (reliability) – набор атрибутов, относящихся к способности программного обеспечения сохранять свой уровень качества функционирования при установленных условиях за установленный период времени [1].

1) Завершенность (maturity). Неработоспособность программного обеспечения системы управления манипулятором допускается в течение не более 3 часов в год;

2) Устойчивость к отказам (fault tolerance) – способность поддерживать заданный уровень работоспособности при отказах;

3) Способность к восстановлению (recoverability) – способность восстанавливать определенный уровень работоспособности и целостность данных после отказа. Другими словами никакие данные, связанные с обработкой сигналов от оператора гибкого манипулятора, а также данные, полученные на предшествующих отказу этапам функционирования системы автоматизированного управления, не должны быть потеряны;

в) Практичность (usability) – набор атрибутов, относящихся к объему работ, требуемых для использования и индивидуальной оценки такого использования определенным или предполагаемым кругом пользователей [1].

1) Понятность (understandability). Пользовательский интерфейс программного обеспечения должен способствовать минимизации усилий оператора лесной машины, чтобы воспринять необходимый набор функций.

2) Удобство обучения (learnability) – величина, обратная к усилиям, затрачиваемым оператором гибкого манипулятора чтобы научиться работе с программным обеспечением;

3) Удобство работы (operability) – показатель, обратный к усилиям, предпринимаемым оператором, чтобы решить свои задачи с помощью программного обеспечения;

г) Эффективность (efficiency) – набор атрибутов, относящихся к соотношению между уровнем качества функционирования программного обеспечения и объемом используемых ресурсов при установленных условиях [1]. Эффективность обеспечивается принятием оптимальных в отношении ресурсов решений на разных этапах разработки программного обеспечения, начиная от разработки архитектуры. Особенно сильно на эффективность программного обеспечения влияет выбор структуры и представления данных, а также выбор алгоритмов, используемых в тех или иных программных модулях, а также особенности их реализации (включая выбор языка программирования).

1) Временная эффективность (time behavior). Программное обеспечение системы управления гибкого манипулятора должно обеспечивать приемлемую скорость обработки данных, в том числе время определения графа перехода текущей конфигурации к требуемому состоянию менее чем за 230 мс с вероятностью ошибки 0,02;

2) Эффективность использования ресурсов (resource utilization) – способность решать нужные задачи с использованием определенных объемов ресурсов определенных видов.

Кроме того, к характеристикам качества программного обеспечения относятся сопровождаемость и мобильность, характеризующие соответственно удобство проведения действий, относящихся к сопровождению программ, и способность сохранять работоспособность при переносе программного обеспечения из одного окружения в другое.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. (б.д.). Получено 9 11 2013 г., из Библиотека ГОСТов: <http://vsegost.com/Catalog/18/18984.shtml>.

2. ISO/IEC 9126-1:2001 Software engineering -- Product quality / ISO standards. URL: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=22749.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРАЦИОННОГО СМЕСИТЕЛЯ

Сергеев С.В.

профессор кафедры технологические процессы и оборудование
машиностроительных производств филиала Южно-Уральского
государственного университета в г. Усть-Катаве, канд. тех. наук, доцент,
Россия, г. Усть-Катав

Некрутов В.Г.

старший преподаватель кафедры технологические процессы и оборудование
машиностроительных производств филиала Южно-Уральского
государственного университета в г. Усть-Катаве, канд. тех. наук,
Россия, г. Усть-Катав

Иршин А.В.

заведующий лабораторией технологические процессы
и оборудование машиностроительных производств филиала
Южно-Уральского государственного университета в г. Усть-Катаве,
Россия, г. Усть-Катав

Мальцев П.С.

студент четвертого курса филиала
Южно-Уральского государственного университета в г. Усть-Катаве,
Россия, г. Усть-Катав

В статье рассматривается вопрос повышения эффективности вибрационного смесителя, реализующего новый способ перемешивания жидких сред, заключающийся в углублении турбулизации увеличением циркуляции потоков и исключения застойных зон, путем сообщения рабочей среде совместного вращения и радиально-осевых колебаний.

Ключевые слова: смеситель, роторный инерционный вибровозбудитель, закрученные встречные затопленные струи.

Для осуществления различных физических, химических и гидромеханических (диспергирование, эмульгирование, гомогенизация, пенообразование, деструкция) процессов с жидкостями во многих отраслях промышленности используются смесители с вращающимися перемешивающими устройствами в неподвижных резервуарах различных типов.

Существующие конструкции смесителей обладают рядом недостатков основные из которых: слабая интенсивность перемешивания, образование застойных зон, высокая потребляемая мощность, низкая производительность [1].

Поэтому несмотря на многообразие смесителей, продолжают поиски новых, более совершенных конструкций, обеспечивающих при сравнительно

малых затратах энергии наибольшую производительность процесса и высокое качество готового продукта.

Таковыми могут являться смесители [1], основанные на вибрационном воздействии, позволяющие увеличить турбулизацию и циркуляцию потоков жидкой среды, но при их использовании образуются застойные зоны, которые не позволяют достигнуть максимальной турбулизации.

С целью повышения эффективности вибрационного смесителя предлагается непосредственно в зону перемешивания смесителя ввести роторный инерционный вибровозбудитель, который основан на принципиально новом способе возбуждения колебаний [2].

На рис. 1 представлена экспериментальная установка смесителя.



Рис. 1. Экспериментальная установка смесителя

Использование вибрационного смесителя позволяет реализовать новый способ перемешивания жидких сред, при котором смеси принудительно, посредством ротора с перфорированными дисками одновременно задают вращение $\omega_{вр}$ с пульсациями скорости $\pm \varepsilon$ и радиально-осевые колебания, вместе с тем, формируют закрученные встречные затопленные струи и увеличивают длину их пути перемешивания при объемной циркуляции этих струй (рис. 2), при этом будут доминировать такие факторы, как управляемая частота и амплитуда колебаний, оказывающие воздействия на составляющие скорости движения жидкой среды V_r , V_z , V_t [3]. Причем, изменяя параметры этих движений управляют шагом спиральных траекторий закрученных встречных затопленных струй (рис. 2), а значит и интенсивностью их взаимодействия.

Для исследования траекторий движения затопленных струй используется программа «Flow Vision» основанная на консервативных схемах расчета нестационарных уравнений в частных производных, которые по сравнению с неконсервативными схемами дают решения, точно удовлетворяющие законам сохранения (в частности, уравнению неразрывности).

Результаты компьютерных исследований показали, что использование данного вибрационного смесителя позволяет одновременно реализовать несколько вибромеханических эффектов [4, 5]: повышение турбулизации жид-

кой среды, активного перемешивания жидкости (виброструйный эффект), эффект вибрационного поддержания вращения ротора машины (эффект хулахупа).

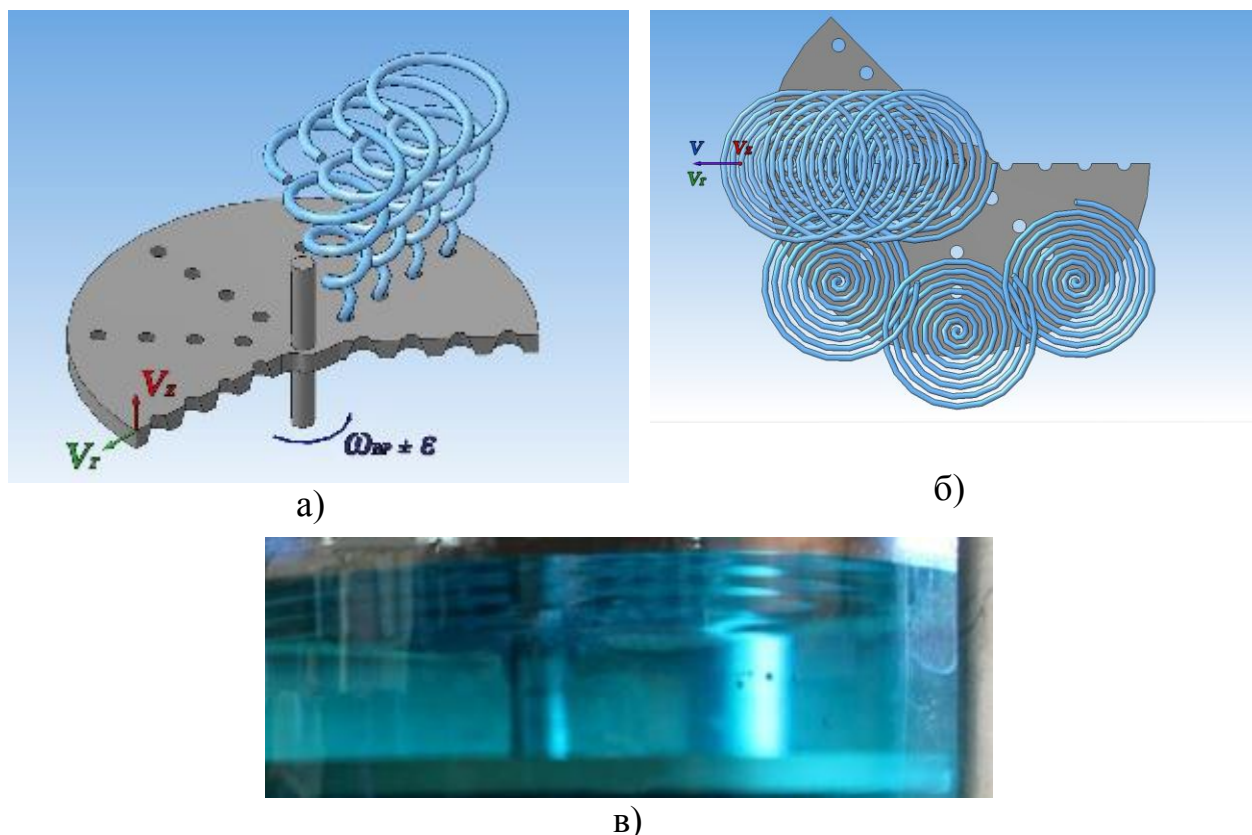


Рис. 2. Формирование турбулентных затопленных струй: а), б) схемы взаимодействия струй; в) результат взаимодействия струй

Поэтому при замене известных конструкций смесителей на данный вибрационный смеситель, который будет основан на предлагаемом способе перемешивания, за счет повышения эффективности его работы, существенно увеличится качество продукта.

Промышленная применимость, таким образом, предлагаемого вибрационного смесителя может быть реализована в металлообработке, при приготовлении СОЖ; в горном деле при приготовлении буровых растворов; в пищевой промышленности, при приготовлении эмульсий, и других отраслях промышленности, где требуется перемешивание жидких сред.

Список литературы

1. Васильцев, З.А. Аппараты для перемешивания жидких сред: справочное пособие / З.А. Васильцев, В.Г. Ушаков. – Л.: Машиностроение, 1989. – 271 с. 2. Блехман, И.И. Вибрационная механика / И.И. Блехман. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
2. А.с. №1664412. Способ возбуждения круговых колебаний и устройство для его осуществления / С.Г. Лакирев, Я.М. Хилькевич, С.В. Сергеев. – Оpubл. в Б. И., 1991, Бюл. №27.
3. Пат. 2543204 Российская Федерация, МПК В 01F 11/00. Способ перемешивания жидкости / С.В. Сергеев, В.Г. Некрутов и др. – №2013121302/05; заявл. 07.05.2013; опубл. 27.02.15, Бюл. №6.

4. Сергеев, С.В. Применение вибромеханических эффектов при приготовлении и регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей / С.В. Сергеев, В.Г. Некрутов // СТИН. №5, 2012. – С. 33–37.

5. Vibromechanical methods in the preparation and regeneration of lubricant and coolant fluids / S.V. Sergeev and V.G. Nekrutoy // Russian Engineering Research, 2012, Vol. 32, No. 11–12, pp. 754–757.

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ: СИСТЕМНЫЙ СТАТУС И УПРАВЛЕНИЕ

Сизиков В.П.

доцент кафедры высшей математики Омского государственного университета путей сообщения, канд. техн. наук, доцент,
Россия, г. Омск

С привлечением системной методологии в ранге ДИС-технологии установлен системный статус турбулентности. На примере модели в ранге когнитивной ячейки выявлены основные особенности проявления турбулентности и управления ею, вполне согласующиеся с общеизвестными фактами.

Ключевые слова: гравитация, ДИС-технология, режим, ресурс, система, турбулентность, электромагнетизм.

Введение. Данная работа является продолжением [1] апробаций ДИС-технологии как инструментария, которому присущи одновременно качества и системной методологии, и языка программирования на уровне оболочки экспертных систем, и аппарата имитационного моделирования. Этот инструментарий позволяет быстро получать на качественном уровне то, что традиционно требует десятки лет исследований, проведения чрезвычайно затратных и экологически вредных экспериментов. В данной работе это демонстрируется на примере феномена турбулентности.

Несмотря на вековые исследования и технические достижения, феномен турбулентности немыслим без привлечения уравнений [2, с. 450]. Причина, скорее, в том, что здесь необходим, так сказать, двухуровневый подход к представлению о системах, в то время как для понятия системы нет общепринятого адекватного продвижения даже на один уровень, но преобладает скепсис к тому, что понятие системы допускает определение. А всё потому, что стараются подходить к системе исключительно с внешних по отношению к ней позиций, полностью отказывая во внимании внутренним атрибутам системы, хотя на деле всё должно быть в точности наоборот. В ДИС-технологии такого недостатка уже нет.

ДИС-технология есть [3–5] аппарат математического моделирования инновационного уровня, онтологически проработанный в рамках теории динамических информационных систем (ДИС, ТДИС) [6] вариант использования в кибернетике и её приложениях алгоритмов в ранге ведущей роли, в том числе как механизмов организации и реализации процессов. Такому аппарату внутренне присущи качества языка программирования по организации и

осуществлению имитаций, и ДИС-технологию можно отождествлять с этим языком программирования.

Рабочим объектом ДИС-технологии является ДИС как оргграф с двумя типами рёбер (ведущими, контролирующими) и процессом информационного функционирования (ПИФ) на нём как процессом перераспределения между его вершинами двух типов ресурса (актива, пассива) в последовательности из актов трёх типов: A_c – акт сбора актива в пассив по контролирующим рёбрам ДИС; A_t – акт трансформации пассива в актив в некоторых вершинах ДИС; A_d – акт перераспределения актива по ведущим рёбрам ДИС.

Сущность и модель турбулентности. При взгляде извне поведение турбулентного характера представляется неким хаосом из вихрей, каждый из которых несовместим с законами сохранения энергии без привлечения гипотез о дополнительных внутренних силах или вмешательствах извне. На деле никаких таких гипотез изобретать не надо, если исходить из наличия внутренних атрибутов системы. И тогда турбулентность явится всего лишь отражением поведения одной системы в рамках другой, более широкой системы. Практически всё и всегда при наблюдении извне выдаёт себя в той или иной мере как турбулентность. Наблюдатель, конечно, может по-разному воспринимать и регулировать режим турбулентности, но сам по себе факт наличия турбулентности от него не зависит.

Ограничимся простейшей моделью в форме когнитивной ячейки с вершинами v_0, v_1, v_2, v_3 . Здесь первые три вершины представляют модель исходной системы G в ранге триады с кругооборотом в ней ресурса по циклу $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_0$. Добавление к ней вершины v_3 с дополнительно возможным кругооборотом ресурса по циклу $v_0 \rightarrow v_3 \rightarrow v_2 \rightarrow v_0$ даёт в целом модель более широкой системы H в ранге когнитивной ячейки. При этом триада с вершинами v_0, v_3, v_2 выступает как подсистема U по организации внешнего управления подсистемой G .

Для запуска ПИФ у ячейки H надо задать начальное распределение активов r_i и пассивов q_i по вершинам v_i ($i=0,1,2,3$) и определиться с тем, как меняются от компонента к компоненту ПИФ уровни трансформации λ_i пассива в актив в вершинах v_i и относительные проводимости $f_c(v_j, v_i)$, $f_d(v_i, v_j)$ контролирующего и ведущего ребра, проводящего ресурс от v_i к v_j . На деле, как показывают многочисленные эксперименты, режим, на который выходит ПИФ, лишь в исключительных случаях зависит от начального распределения активов и пассивов, т.е. значения r_i и q_i можно задать произвольными. А для здравого сравнительного анализа будем считать, что общий объём ресурса в триаде равен 1 – условной единице.

Далее, организация ПИФ на принципе взаимодействия означает, что величины $f_d(v_i, v_j)$, $f_c(v_j, v_i)$ определяются текущим образом из соотношений: $f_d(v_i, v_j) = a(r_j + q_j)$, $f_c(v_j, v_i) = b(r_j + q_j)$, где $0 < a \leq 1$ и $0 \leq b \leq 1$ – постоянные взаимодействия, которые могут изменяться от компонента к компоненту. Однако для выявления автономных качеств системы уместно считать значения a и b неизменными. Это касается и всех значений $0 \leq \lambda_i \leq 1$.

Таким образом, предстоит фиксировать шесть значений $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, a, b$ и проследить, какой при них складывается режим ПИФ ячейки H и каковы его особенности на триаде G . Затем можно менять независимо эти значения и отслеживать, как это влияет на режим ПИФ ячейки. Анализ таких изменений с сериями интерпретаций раскроет суть турбулентности.

Понятно, что полного произвола в указанной шестёрке значений быть не должно, так постараемся определиться с минимальной серией экспериментов. Прежде всего, желателен вклад от взаимодействия без помех со стороны, значит, сумму $\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$ берём близкой к 1. Далее, для выявления тонкостей турбулентности важно, чтобы за рамками части G почти не было ресурса в системе H , поэтому выбираем λ_3 малым. Пусть также для начала будет $\lambda_0 = \lambda_1 = \lambda_2$. Наконец, от a и b , в основном, зависит мощность взаимодействия, так из удобств полноты отражения результатов эксперимента начнём с $a = b = 0,5$. Итак, для начала возьмём $\lambda_0 = \lambda_1 = \lambda_2 = 0,3, \lambda_3 = 0,06, a = b = 0,5$. Расчёт ПИФ у ячейки при таких данных даёт графики изменения величин актива (ряд 1) и пассива (ряд 2) в четвёрке вершин (рис. 1 слева). Для сравнения тут же приведём поведение ПИФ отдельно взятой триады G при тех же уровнях трансформации (рис. 1 справа).

Чтобы проследить, как зависит турбулентность от воздействий U на G , приведены случаи, когда по-прежнему $a = b = 0,5$, но $\lambda_0 = \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0,23$ (рис. 2 слева) и $\lambda_0 = \lambda_1 = \lambda_2 = 0,04, \lambda_3 = 0,8$ (рис. 2 справа). Эти варианты берём и при факте неоднородности G . Сначала при избытке тормозов в вершине v_1 , не входящей в U : $\lambda_0 = 0,1, \lambda_1 = 0,6, \lambda_2 = 0,2, \lambda_3 = 0,06$ (рис. 3 слева) и $\lambda_0 = 0,02, \lambda_1 = 0,3, \lambda_2 = 0,04, \lambda_3 = 0,6$ (рис. 3 справа). А при избытке тормозов в общей для G и U вершине различим ещё случаи, когда такой вершиной выступает v_2 или v_0 : $\lambda_0 = 0,2, \lambda_1 = 0,1, \lambda_2 = 0,6, \lambda_3 = 0,06$ (рис. 4 слева) и $\lambda_0 = 0,04, \lambda_1 = 0,02, \lambda_2 = 0,3, \lambda_3 = 0,6$ (рис. 4 справа), $\lambda_0 = 0,6, \lambda_1 = 0,1, \lambda_2 = 0,2, \lambda_3 = 0,06$ (рис. 5 слева) и $\lambda_0 = 0,3, \lambda_1 = 0,02, \lambda_2 = 0,04, \lambda_3 = 0,6$ (рис. 5 справа). Наконец, для учёта влияния постоянных взаимодействия a и b приведены случаи, где $\lambda_0 = \lambda_1 = \lambda_2 = 0,3, \lambda_3 = 0,06$, но $a = 0,5, b = 0,05$ (рис. 6 слева) и $a = 0,05, b = 0,5$ (рис. 6 справа).

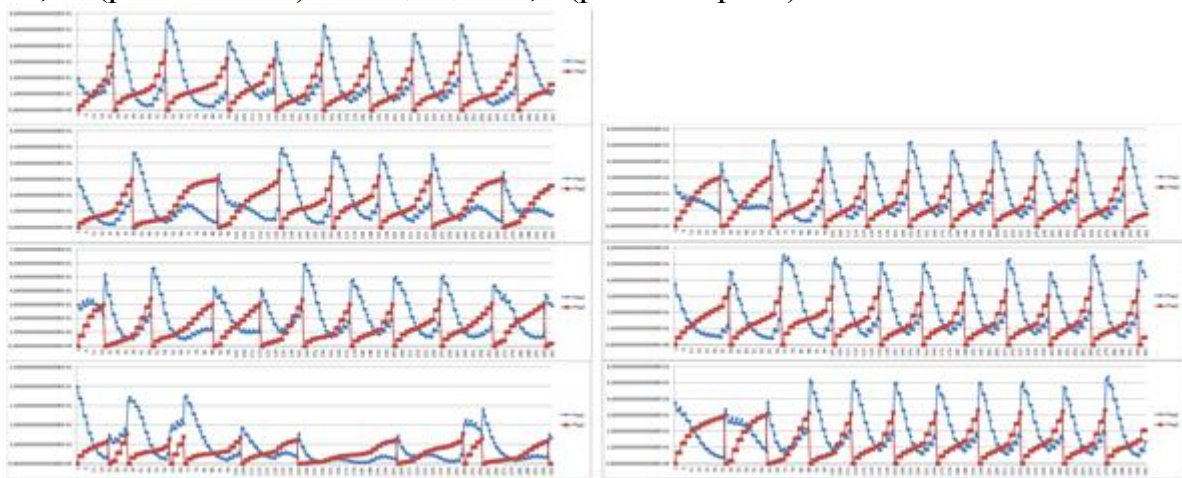


Рис. 1. Базовые режимы турбулентности (слева) и свободного функционирования (справа) подсистемы G

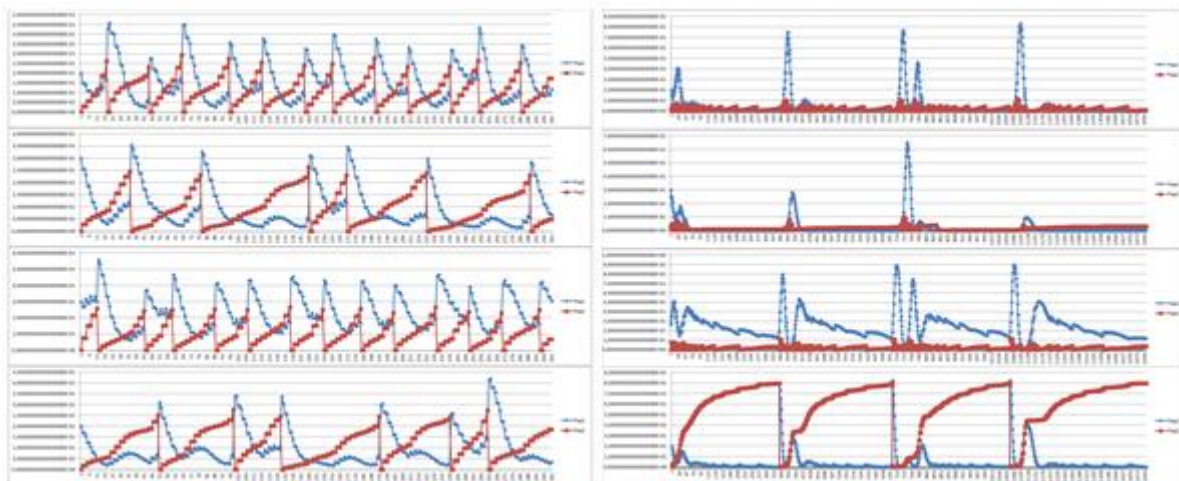


Рис. 2. Режимы турбулентности при умеренном (слева) и мощном (справа) управлении

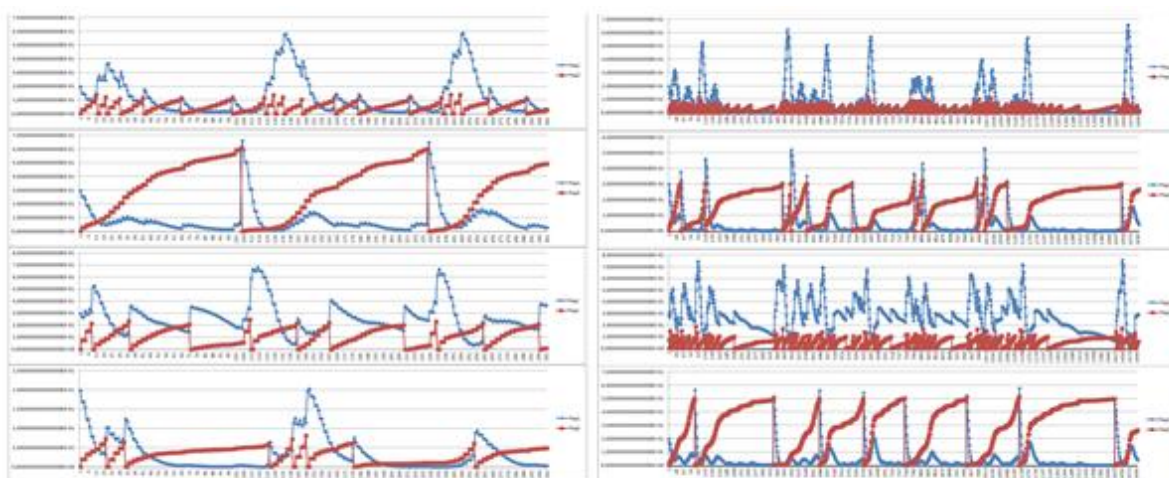


Рис. 3. Режимы турбулентности неоднородной подсистемы G при избытке тормозов в недоступном прямому управлению (слабому – слева и сильному – справа) элементе

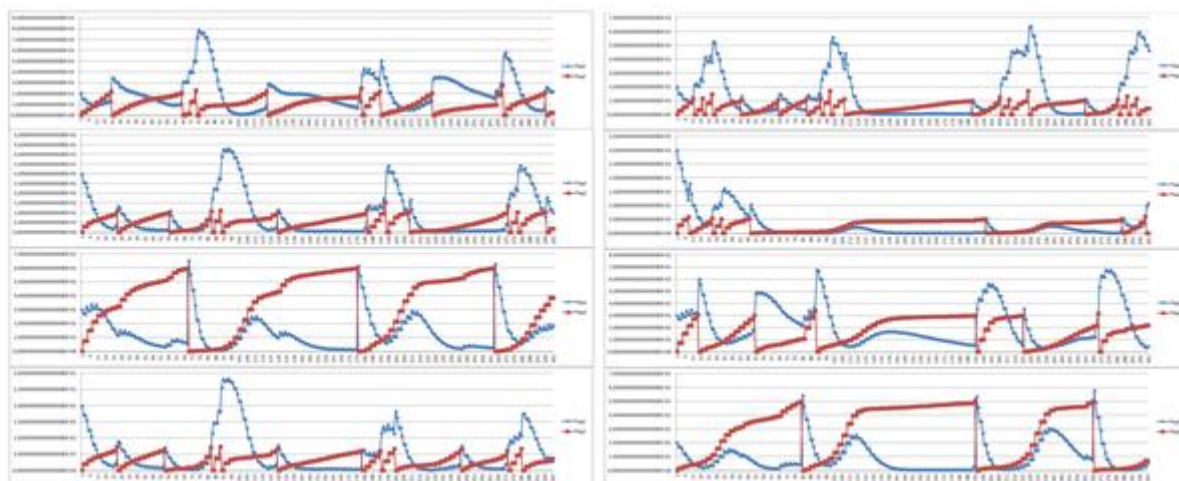


Рис. 4. Режимы турбулентности неоднородной подсистемы G при избытке тормозов в доступном прямому управлению (слабому – слева и сильному – справа) элементе

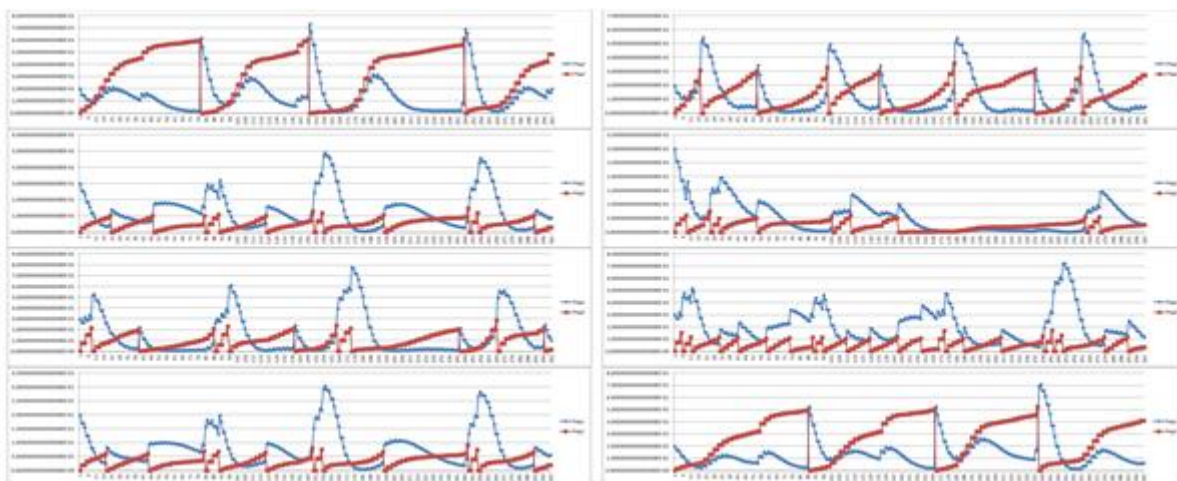


Рис. 5. Режимы турбулентности неоднородной подсистемы G при избытке тормозов в доступном наблюдению при управлении (слабом – слева и сильном – справа) элементе

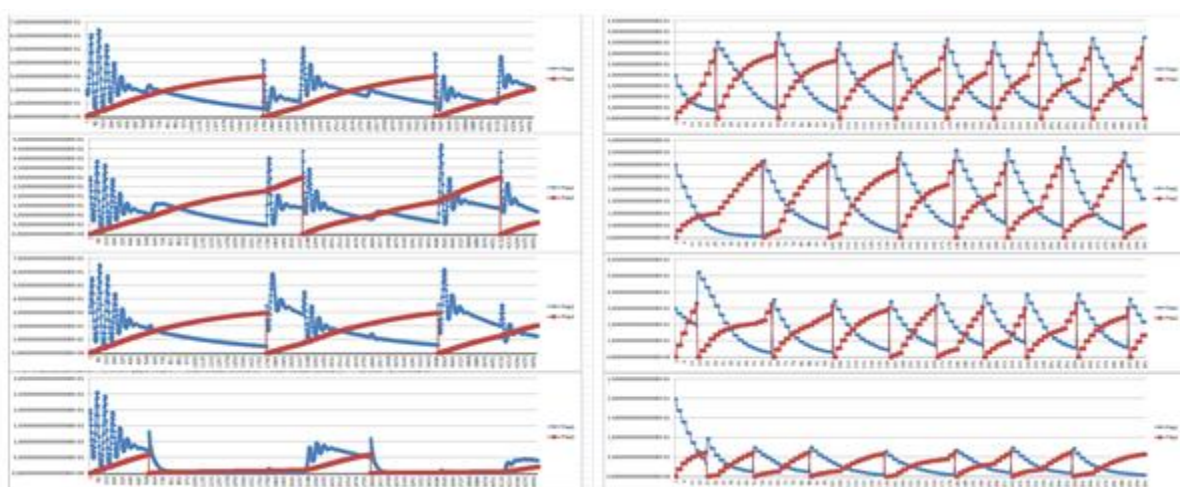


Рис. 6. Режимы турбулентности при ослабленной (слева) и усиленной (справа) работе пассива в системе

В приведённых вариантах подсистема U управляет подсистемой G через изменение величины λ_3 . В принципе, возможно через v_3 управлять и изменением объёма ресурса в системе, т.е. самой условной единицы, но этот вариант не приносит новых качеств к уже избранным вариантам.

Итак, приступим к анализу и интерпретациям результатов.

Анализ результатов. Начиная внимание с правого из рисунков 1, можно сказать, что ПИФ на нём почти периодичен. Но не менее главным моментом у него является качество строгой посменности пиков ресурса в вершинах триады в циклическом порядке $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_0$. Впрочем, это и не удивительно, так как вершины в триаде полностью равноправны, в том числе по значениям в них уровней трансформации: $\lambda_0 = \lambda_1 = \lambda_2 = 0,3$. По-другому говоря, здесь мы имеем режим гравитации.

Присоединение вершины v_3 оставляет локальное поведение ПИФ прежним, т.е. в режиме гравитации. Однако, как нетрудно заметить, при этом увеличивается характерный размер периода в вершине v_1 . На каких-то этапах строгая посменность, конечно, прослеживается, но через некоторое время порядок пиков нарушается, изменяется, как будто некий вихрь поменял

направление вращения. Эта переменная порядка и есть проявление турбулентности у подсистемы G в H .

Строго говоря, наблюдаются вершины управляющей триады U , но никак не вершина v_1 . Так поведение ПИФ в триаде U , особенно в вершине v_3 , и вовсе плохо согласуется с остальным в порядке посменности. У поведения ПИФ в триаде G больше стройности, чем в триаде U .

Последний момент продиктован, прежде всего, малостью значения λ_3 . Потому актуален вариант с достаточно большим значением λ_3 , что и представлено на рисунках 2. На левом из них выбран случай, когда все вершины системы равноправны по величине уровня трансформации: $\lambda_0=\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=0,23$. Так, по-прежнему имеем режим гравитации, причём поведение ПИФ в вершине v_3 при этом и впрямь на качественном уровне повторяет его поведение в вершине v_1 . Но характерный размер периода у ПИФ в этих вершинах примерно вдвое больше такового в вершинах v_0 , v_2 , и строгой посменности уже не выявляется даже на локальных этапах. Здесь можно говорить о проявлении турбулентности на уровне хаоса, несмотря на то, что на деле порядка в поведении ПИФ весьма предостаточно.

Дальнейшее увеличение λ_3 должно сопровождаться уменьшением λ_0 , λ_1 , λ_2 . При этом всё больше будет нарушаться стройная картина с пиками, характерная для режима гравитации. Поведение ПИФ в вершинах из G почти сразу начнёт больше походить на то, что оказывается на левом рисунке 1 в вершине v_3 , а в самой вершине v_3 поведение ПИФ будет с нарастанием λ_3 всё больше походить на то, что изображено в ней на правом рисунке 2. По сути, ПИФ в системе всё чётче будет проявляться в режиме электромагнетизма, характерный пример которого и даёт правый рисунок 2. На этом рисунке вершина v_3 выступает в роли положительного полюса электрического диполя, а вершина v_0 — отрицательного. Вершина v_2 здесь оказывается в роли магнитной среды как проводника электрического взаимодействия. Теперь наряду с тем, что подсистема G проявляет турбулентность, в управляющей подсистеме U могут регулярно поступать молнии из вершины v_0 в вершину v_3 . Обратим внимание, что молний нет в турбулентной подсистеме G , видимо, этому мешает её однородность.

На рисунках 3–5 представлены варианты, когда в подсистеме G есть неоднородности. На рисунках 3 главным нарушителем однородности G является вершина v_1 , не входящая в управляющую подсистему U . Здесь, как и в предыдущем случае, при увеличении λ_1 всё больше будет нарушаться режим гравитации, и проявляться режим электромагнетизма. Но теперь это будет происходить в самой турбулентной подсистеме G , где вершина v_1 явится в роли положительного полюса электрического диполя, вершина v_0 — отрицательного, а вершина v_2 — в роли магнитной среды. На левом рисунке 3 представлен случай, когда управление слабо. При этом вершина v_3 не будет полюсом диполя, тем не менее, поведение ПИФ в ней будет аналогично его поведению в вершине v_0 , и это позволит надёжно наблюдать за молниями, происходящими в подсистеме G . На правом же рисунке 3, наоборот, управление велико. Здесь электромагнетизм присущ и управляющей подсистеме U , в ней

вершина v_3 оказывается тоже в роли положительного полюса электрического диполя при тех же магнитной среде v_2 и отрицательном полюсе v_0 как неисчерпаемом источнике молний.

На рисунках 4 главным нарушителем однородности G является вершина v_2 , в которую напрямую поступают управляющие воздействия подсистемой U . На левом рисунке 4 представлен случай, когда управление слабо. Так, в этом случае тоже имеем сразу два электрических диполя, но теперь у них вершина v_2 явится в роли общего положительного полюса, вершины v_1 , v_3 – отрицательных полюсов, а вершина v_0 – в роли магнитной среды. Теперь молнии будут поступать регулярно в вершину v_2 из, соответственно, вершины v_1 в G и v_3 в U . В частности, некоторые управляющие воздействия будут представляться как удары молний. А на правом рисунке 4, где управление велико, наоборот, электромагнетизм будет проявляться лишь в управляющей подсистеме U , в ней вершина v_3 выступит в роли положительного полюса электрического диполя, вершина v_0 – отрицательного, а вершина v_2 – в роли магнитной среды. В частности, некоторые наблюдения в v_3 будут сопровождаться ударами молний.

Наконец, на рисунках 5 главный нарушитель однородности G – вершина v_0 , из которой напрямую берутся наблюдения подсистемой U . На левом рисунке 5 представлен случай, когда управление слабо. Так, в этом случае имеем как бы сдвоенный электрический диполь, у которого вершина v_0 выступает в роли положительного полюса, вершина v_2 – отрицательного полюса, а вершины v_1 , v_3 – в роли магнитной среды, причём графики ПИФ в этих вершинах идентичны один другому. Здесь мы имеем, по сути, самый надёжный и безопасный вариант управления турбулентностью. А на правом рисунке 5, где управление велико, имеем как бы двухуровневый электромагнетизм с общей магнитной средой на месте вершины v_2 . С одной стороны, в управляющей подсистеме U проявляется электрический диполь с положительным полюсом на месте вершины v_3 и отрицательным – на месте вершины v_0 . С другой стороны, в турбулентной подсистеме G проявляется электрический диполь с положительным полюсом на месте вершины v_0 и отрицательным – на месте вершины v_1 . Так что вершина v_0 оказывается в роли одновременно и положительного, и отрицательного полюса. Возможно, здесь имеем пример формирования двухзвенной линейной молнии из v_1 в v_3 .

Пропорциональное изменение параметров a и b меняет, по сути, лишь величину скорости перераспределения ресурса, ведя к равномерному растяжению или, наоборот, сжатию графика ПИФ. Для качественных же перемен режима ПИФ в системе решающее значение имеет отношение a/b , вот и представлены на рисунке 6 два случая, в первом из которых $a/b > 1$, а во втором $a/b < 1$. Так, наращивание отношения a/b приводит сначала к хаосу амплитуд и периодов, а затем и вовсе к режиму сотрясения (левый рисунок 6) с испусканием затухающих волн при каждой трансформации пассива в актив, причём затухание длится тем больше, чем больше a/b . Но это при слабом управлении. При сильном управлении аналогичное будет в русле электромагнетизма, доходя до испускания электромагнитных волн. А с уменьшением

отношения a/b поведение актива в каждой вершине всё больше обретает тенденцию постоянно убывать, пока не настанет момент трансформации в ней пассива в актив, как оно представлено на правом рисунке 6. При этом характер поведения режима ПИФ остаётся, в главном, таким же, как и при случаях $a/b=1$. В частности, при сильном управлении будет проявляться электромагнетизм, и тоже с тенденцией на постоянное убывание величины актива.

Основные выводы. Учитывая приведённые моменты, сделаем серию выводов.

1. Турбулентность – это факт влияния системы на функционирование своей подсистемы.

2. Специфика проявление турбулентности зависит от параметров, как самой подсистемы, так и её окружения.

3. Даже малое влияние окружения приводит к хаосу в подсистеме, несогласованию в ней скоростей и порядков перераспределения ресурса.

4. При мощном влиянии окружения, при котором объём ресурса в подсистеме может меняться в разы, проявляется режим электромагнетизма с возможным испусканием молний подсистемой в окружение.

5. При достаточно серьёзной неоднородности подсистемы, в ней, как правило, тоже проявляется режим электромагнетизма. В целом здесь возможны следующие качественно различные варианты.

5.1. Если ведущий блок неоднородности в подсистеме «упрятан» от прямого взаимодействия с окружением, то при слабом влиянии окружения можно эффективно наблюдать за происходящим в подсистеме, а при мощном влиянии вероятно испускание молний и в само окружение.

5.2. Если ведущий блок неоднородности в подсистеме находится под прямым воздействием окружения, то это воздействие при слабом влиянии окружения само может предстать в ранге молнии, а при мощном влиянии окружения электромагнетизма в самой подсистеме нет, тем не менее, она может испускать молнии в окружение.

5.3. Если ведущий блок неоднородности в подсистеме находится, наоборот, под прямым наблюдением окружения, то при слабом влиянии окружения молнии сосредоточиваются в подсистеме на пограничной части её с окружением. А при мощном влиянии окружения вполне возможна двухступенчатая молния из «упрятанной» от прямого взаимодействия с окружением части подсистемы сначала на границу, а затем в окружение.

6. С ростом подвижности среды (отношения a/b) функционирование системы сопровождается сотрясениями с испусканием всё более медленно затухающих волн, в том числе электромагнитных при мощном управлении.

7. А с ростом вязкости среды (уменьшения a/b) функционирование системы, наоборот, становится всё более монотонным, колебания в ней сводятся к минимуму, прописанному трансформациями пассива в актив.

Заключение. Итак, с привлечением системной методологии в ранге ДИС-технологии установлен системный статус турбулентности как факт влияния системы на функционирование своей подсистемы. Простейшая модель в ранге когнитивной ячейки позволила быстро определить основные

особенности проявления турбулентности, вполне согласующиеся с общеизвестными фактами. Одновременно выявлены моменты, которые дают образец того, что наблюдается в Природе, но не находит здравых объяснений в традиционных рамках, например, возможность многоступенчатой молнии. В перспективе актуально провести анализ типов движения при турбулентности, а также изучить случаи, когда отношение a/b может меняться от вершины к вершине в модели.

Список литературы

1. Сизиков, В.П. Модель и анализ взаимодействия протона и электрона на базе ДИС-технологии [Текст] / В.П. Сизиков // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: Сб. науч. тр. по матер. VI Междун. науч.-прак. конф. в 6 ч. – Белгород : ИП Петрова М.Г., 2015. – Ч. III. – С. 118–125. То же [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.issledo.ru.
2. Математическая энциклопедия [Текст] / Гл. ред. И.М. Виноградов. – М. : «Советская энциклопедия», 1984. – Т. 5. – 1247 с.
3. Разумов, В.И. Информационные основы синтеза систем. В 3 ч. Ч. I. Информационные основы системы знаний [Электронный ресурс] / В.И. Разумов, В.П. Сизиков. – Режим доступа: <http://www.omsu.ru/file.php?id=2594>.
4. Разумов, В.И. Информационные основы синтеза систем. В 3 ч. Ч. II. Информационные основы синтеза [Электронный ресурс] / В.И. Разумов, В.П. Сизиков. – Режим доступа: <http://www.omsu.ru/file.php?id=4265>.
5. Разумов, В.И. Информационные основы синтеза систем. В 3 ч. Ч. III. Информационные основы имитации [Электронный ресурс] / В.И. Разумов, В.П. Сизиков. – Режим доступа: <http://www.omsu.ru/file.php?id=6759> (part1); <http://www.omsu.ru/file.php?id=6760> (part2).
6. Разумов, В.И. Основы теории динамических информационных систем [Электронный ресурс] / В.И. Разумов, В.П. Сизиков. – Режим доступа: <http://www.omsu.ru/file.php?id=4264>.

КОМПЛЕКС ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Скоморохов О.В.

аспирант Технологического университета,
Россия, г. Королев

В статье проводится краткий анализ комплекса полунатурного моделирования летательных аппаратов и ракетно-космической техники.

Ключевые слова: комплекс полунатурного моделирования, беспроводные технологии, испытательный стенд.

Огромное значение для отработки летательных аппаратов и ракетной техники, в условиях наиболее приближенным к реальным, играет полунатурное моделирование [1–6].

Одним из ярких примеров новейшего комплекса полунатурного моделирования (КПМ) является КПМ созданный в ОАО «Корпорация тактиче-

ское ракетное вооружения» совместно с «ГОСНИИАС» «ПРИВОД-СПЕЦМАШ» «20 Загрантехстройпроект МО РФ» в/ч 34090 МО РФ [1].

КПМ предназначен для полунатурного моделирования, испытаний по отработке и стыковке систем (БКУ) и проведению предполетного моделирования разрабатываемых изделий. В его состав входят: 3-х степенной динамический стенд СЗК-600; 2-х степенной стенд имитатора цели РИЦ-5; стенд шарнирных моментов; силовое и управляющее оборудование к стендам; безэховая экранированная камера и аппаратная; рабочие места специалистов и операторов.

КПМ позволяет решать следующие основные задачи:

- отработка информационной стыковки БКУ с верхним бортом;
- отработка предстартовой подготовки и начальной выставки инерционной системы БКУ;
- отработка алгоритмов управления и стабилизации БКУ;
- отработка систем наведения, включая оценку точностных характеристик;
- отработка информационной стыковки элементов БКУ;
- предполетное моделирование реальных комплексов БКУ в соответствии с программой летных испытаний;
- производство записи и обработки ТМИ при имитации полета изделия с реальным БКУ.

Стенд СЗК-600. СЗК-600 предназначен для работы в составе комплекса полунатурного моделирования и служит для преобразования управляющих электрических сигналов в высокоточные угловые скорости и угловые перемещения изделия относительно собственного центра масс при исследовании бортовых комплексов управления. Основные характеристики стенда СЗК-600 представлены в табл.1.

Таблица 1

Основные характеристики СЗК-600

№	Характеристика	Значение
1.	Нагрузка стенда, кг	100
2.	Углы поворота осей, град.: крен тангаж курс	± 175 ± 175 ± 175
3.	Максимальные угловые скорости осей, град/с: крен тангаж курс	300 250 140
4.	Максимальные угловые ускорения осей, град/с ² крен тангаж курс	6000 4000 2800
5.	Рабочая полоса частот при управлении по скорости, Гц: крен тангаж курс	8 6 5
6.	Точность углового позиционирования осей стенда, угловые минуты	3...5

Радиолокационный имитатор цели (РИЦ-5). Предназначен для воспроизведения радиолокационной обстановки и движения линии визирования цели при отработке головки самонаведения изделия. Основные характеристики имитатора РИЦ-5 представлены в табл.2.

Таблица 2

Основные характеристики РИЦ-5

№	Характеристика	Значение
1.	Углы перемещения каретки рупора в плоскостях, град	25
2.	Радиус сферы, перемещения каретки рупора, м	5
3.	Диапазон управляемых угловых скоростей перемещения каретки рупора в вертикальной и горизонтальной плоскостях, град/с	0,1...10
4.	Максимальное угловое ускорение перемещения каретки: град/с ²	10
5.	Допустимая погрешность позиционирования каретки рупора, град	0,25
6.	Допустимая погрешность поддержания заданной угловой скорости перемещения каретки рупора, не более, град/с	0,1
7.	Допустимый вес рупора, не более, кг	5

Стенд шарнирных моментов (СШМ). Предназначен для нагружения рулевого привода (РП) шарнирным моментом, меняющимся в зависимости от летных праметров (угол атаки, угол поворота руля, скоростного напора и числа Маха), во время моделирования, а также в режиме автономного определения характеристик РП без нагрузки и с нагрузкой. Технические характеристики стенда представлены в табл. 3.

Таблица 3

Технические характеристики СШМ

№	Характеристика	Значение
1.	Количество каналов имитации нагруженных рулевых приводов	4
2.	Максимальный момент нагружения, Кгм	12
3.	Максимальный угол отклонения выходных звеньев канала стенда, град	±20
4.	Максимальная скорость перемещения выходных звеньев, град/с	400
5.	Ошибка по заданному моменту, не более, %	10
6.	Диапазон рабочих частот по положению выходных звеньев, Гц	0...8

Силовое и управляющее оборудование. Основой системы цифрового управления, реализованной в БУ, силовую электронику, входящую в БСУ, электродвигатели, систему цифровых измерений и вспомогательную схемотехнику, является встроенный компьютер, основное назначение которого – формирование позиционного контура управления с выдачей сигнала на скоростной контур сервосистемы. Кроме того, на него возлагается передача на элементы системы управления команд управления и отображения текущей информации на табло.

Безэховая экранированная камера и система визуализации. Она предназначена для проведения испытаний радиоэлектронных средств специального назначения в диапазоне частот от 1 до 37,5 ГГц в соответствии с заданными характеристиками. БЭК оснащена системой визуализации состоящей из двух установленных видеокамер, которые передают изображение на проектор.

Рабочие места специалистов и операторов. Основой рабочего места служит компьютер промышленной серии, установленного на нем программного обеспечения и интерфейсных плат различного назначения.

При работе КПМ используется большое количество различных датчиков и исполнительных механизмов, выходные сигналы от которых поступают на вход системы регистрации параметров: контрольно-записывающей аппаратуры (КЗА) [10-12]. Практика показывает, что использование для этих целей проводных коммуникаций, как правило, не эффективно. Связано это как с высокой стоимостью кабелей и их монтажа, так и с низкой надёжности полученной сети. Поэтому применение беспроводной технологии обмена данными порой является не только более надёжной, но часто и единственно возможной [6-9].

Практика показывает, что при отладке изделий на стенде полунатурного моделирования переход на беспроводные технологии позволяют не только значительно увеличить эффективность работы, но и повысить надёжность проводимых измерений [1, 13].

Список литературы

1. Артюшенко, В. М. Современные исследования в области теоретических основ информатики, системного анализа, управления и обработки информации [Текст] // В.М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, И.М. Белюченко, Н.А. Васильев, В.Н. Зиновьев, Ю.В. Стреналюк, Г.Г. Вокин, К.Л. Самаров, М.Е. Ставровский, С.П. Посеренин, И.М. Разумовский, В.Ю. Фоминский. Монография / под науч. ред. д.т.н., проф. В.М. Артюшенко. – Королев, ГБОУ ВПО ФТА, 2014. – 318 с.
2. Артюшенко, В. М. Защита структурированных кабельных систем от внешних электромагнитных воздействий [Текст] / В.М. Артюшенко // Промышленный сервис. – 2005. – №3. – С.20-27.
3. Артюшенко, В. М. Обработка информационных параметров сигнала в условиях аддитивно-мультипликативных негауссовских помех [Текст] / В.М. Артюшенко: монография. – Королев МО: Изд-во «Канцлер», 2014. – 298 с.
4. Артюшенко, В. М. Исследование и разработка радиолокационного измерителя параметров движения протяженных объектов. [Текст] / В.М. Артюшенко: монография, ФГБОУ ВПО ФТА. – М., – 2013 – 214 с.
5. Артюшенко, В. М. Анализ беспроводных технологий обмена данными в системах автоматизации жизнеобеспечения производственных и офисных помещений [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Корчагин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2010. – Т.6. – №2. – С. 18-24.
6. Артюшенко, В. М. Анализ параметров спектра доплеровского сигнала, отраженного от протяженного объекта [Текст] / В.М. Артюшенко, В.И. Воловач // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2012. – Т.55. – №9. – С.62-66.
7. Артюшенко, В. М. Мультимедийные гибридные сети. [Текст] / В.М. Артюшенко, А.К. Гуреев, В.В. Абраменков, К.А. Енютин // Монография. – М.: МГУС. – 2007. – 94 с.
8. Артюшенко, В. М. Оценка влияния электромагнитных помех радиоэлектронных средств на беспроводные устройства малого радиуса действия [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Корчагин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2010. – Т.6. – №2. – С. 10-17.
9. Артюшенко, В. М. Оценка влияния помех от радиоэлектронных систем на беспроводные устройства малого радиуса действия с блоковым кодированием [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Корчагин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2010. – Т.6. – №4. – С.3 – 6.

10. Артюшенко, В. М. Схемы подключения управляющего и измерительного оборудования в системах автоматизации жизнеобеспечения зданий [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Корчагин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2009. – Т.5. – №3. – С.3 – 11.

11. Артюшенко, В.М. Электротехнические системы жизнеобеспечения зданий на базе технологий BASNET. Монография [Текст] / В.М. Артюшенко, Д.О. Шелухин // Под ред. д.т.н., проф. В.М. Артюшенко. – М., ГОУ ВПО «МГУС». – 2006. – 138 с.

12. Корчагин, В. А. Проблемы электромагнитной совместимости цифрового электротехнического оборудования на промышленных и бытовых объектах [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Корчагин // Научный журнал. Вестник Ассоциации ВУЗов туризма и сервиса. – 2009. – №4. – С.95 – 98.

13. Скоморохов, О. В. Применение беспроводных технологий в комплексах полунатурного моделирования летательных аппаратов и ракетно-космической техники [Текст] / О.В. Скоморохов. // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции 30 ноября 2014 г.: в 6 ч. / Под общ. ред. М.Г. Петровой. – Белгород: ИП Петрова М.Г., 2014. – Часть III. – С.142-145.

ПОСТРОЕНИЕ МАРШРУТА НАИМЕНЬШЕЙ СТОИМОСТИ НА СЛОЖНОМ ЛАНДШАФТЕ

Тихомирова А.Н.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
доцент, к.т.н.,
Россия, г. Москва

Сивцов А.С.

студент кафедры «Кибернетика»,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Россия, г. Москва

Загоровский В.И.

начальник отдела разработки ОАО «ДАТА+»,
Россия, г. Москва

В статье рассматриваются проблемы построения маршрута по сложному ландшафту. Разрабатываемый алгоритм позволит пользователю определять ценность ячеек, что обеспечит основу для построения оптимального графа перемещений по пересеченной местности.

Ключевые слова: ландшафт, растровые данные, маршрут наименьшей стоимости, коридор, маршрутизация, сопротивление перемещению.

Существует класс задач, для которых требуется построение маршрута на сложном ландшафте, например, по бездорожью, при наличии препятствий, с учетом особенностей почв и растительности и т.д. В общественном мире возрастает интерес к экзотическому отдыху, крупные нефтедобывающие компании стараются оптимизировать процесс создания транспортно-

вочных узлов, военные – перебрасывать войска с наименьшим риском для сохранности боевых единиц.

Для решения подобного рода задач, где необходимым условием является наличие дорог или каких-либо пешеходных зон, существует достаточно много различного характера приложений, чего нельзя сказать про задачи, целью которых является построение маршрута на сложном ландшафте.

При решении подобного рода задач может быть полезным приложение, позволяющее учесть все условия окружающей локации, и на основе определенных входных характеристик, определяемых пользователем, выдать оптимальное решение в виде маршрутной линии, нанесенной на карту, обозначающей путь наименьшей стоимости, и коридора для этого маршрута.

Коридор в данном контексте – область отклонения от оптимального маршрута в сторону увеличения его “стоимости”.

На данный момент существует несколько военных разработок, способных контролировать, планировать и управлять перемещением боевых единиц в условиях ведения боя. Кроме того, американской компанией ESRI было разработано приложение, которое было применено при построении газопровода «Набукко». Однако для России алгоритмы, лежащие в основе подобных разработок, остаются закрытыми, что усиливает актуальность исследований в этой сфере.

Важным элементом работы такого рода приложений является методика, позволяющая взвешивать растры, которые составляют растр стоимости. Растровое изображение представляет собой сетку пикселей – цветных точек (обычно прямоугольных) на мониторе, бумаге и других отображающих устройствах.

Наиболее существенными характеристиками изображения являются:

- Размер изображения в пикселях, который может выражаться в виде количества пикселей по ширине и по высоте (800×600 px, 1024×768 px, 1600×1200 px и т. д.) или же в виде общего количества пикселей (так изображение размером 1600×1200 px состоит из 1 920 000 точек, то есть примерно 2 мегапикселей);
- Количество используемых цветов или глубина цвета. Эти характеристики имеют зависимость $N = 2^k$, где N – количество цветов, k – глубина цвета;
- Цветовое пространство (цветовая модель) – RGB, CMYK, XYZ, YCbCr и др.;
- Разрешение изображения, определяющее количество точек (элементов растрового изображения) на единицу площади (или единицу длины).

То, как взвешиваются значения растровых ячеек, зависит от применения и желаемых результатов. В качестве входных данных подается одно или несколько растровых изображений с определенными характеристиками. Каждая ячейка растра хранит определенные данные, пользователь сам назначает стоимость перемещения через каждую ячейку. Если изначально растров несколько, то задается степень влияния каждого на результирующее растровое изображение (в процентах). Далее ведется расчет стоимости результиру-

ющей поверхности [2]. Значение, присваиваемое каждой ячейке пользователем, представляет собой степень приоритетности передвижения через нее. Конечное значение на ячейке – это размер ячейки, умноженный на значение стоимости. Например, если растр стоимости имеет размер ячейки 30, а определенная ячейка имеет значение стоимости 10, конечная стоимость этой ячейки равна 300 единиц (рис. 1).

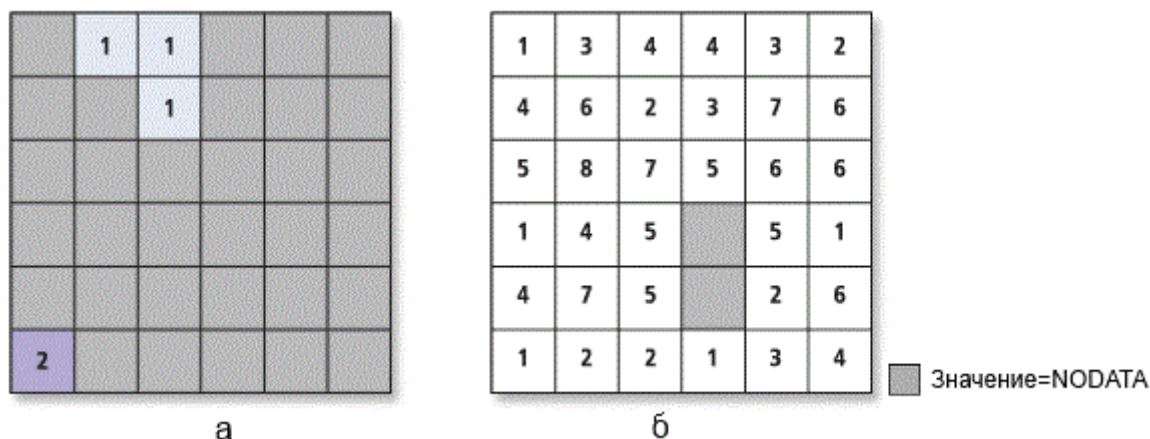


Рис. 1. Исходный растр (а) и растр с посчитанной стоимостью (б)

Не допускается перемещение через ячейки, содержащие значения NoData. Этот тип ячеек считается закрытым для передвижения. То есть, как только растровая ячейка обозначается значением NoData (это значение присваивается изначально пользователем), то далее маршрут через эту ячейку не будет проложен, а алгоритм начнет искать альтернативные пути перемещения в обход данной ячейки. Например, на пути следования имеется заповедник, по которому перемещение на транспортном средстве запрещено, тогда, при обозначении всех ячеек, покрываемых заповедником, как NoData, маршрут будет построен вокруг заповедника.

Далее создается выходной растр, в котором каждой ячейке присваивается суммарная стоимость до ближайшей ячейки-источника. Алгоритм использует представление ячейки по типу «узел/связь», используемому в теории графов. При представлении ячейки по принципу «узел/связь» центр каждой ячейки рассматривается как узел, и каждый узел может быть соединен несколькими связями со смежными узлами. Каждой связи поставлено в соответствие сопротивление перемещению. Сопротивление определяется исходя из стоимости, присвоенной ячейкам на каждом конце связи, и направления движения через ячейку.

Растр стоимостного расстояния определяет ценность каждой ячейки, но не определяет направления дальнейшего передвижения. Для этого строится растр направления, предоставляющий карту-схему дорог, который иллюстрирует направление перемещения из любой ячейки вдоль маршрута с наименьшей стоимостью до ближайшего источника.

Алгоритм вычисления растра направления присваивает код каждой ячейке. Код – это последовательность целых чисел от 0 до 8. Значение 0 используется для представления исходных местоположений, т.к. они уже по су-

ти достигли цели (источника) [1]. Значения от 1 до 8 являются кодами направления по часовой стрелке, начиная справа. Ниже приведены символы по умолчанию, применяемые направленным выходным данным, сопровождаемым стрелочной диаграммой, сопоставляющей стрелки направлений с цветовыми символами (рис. 2).

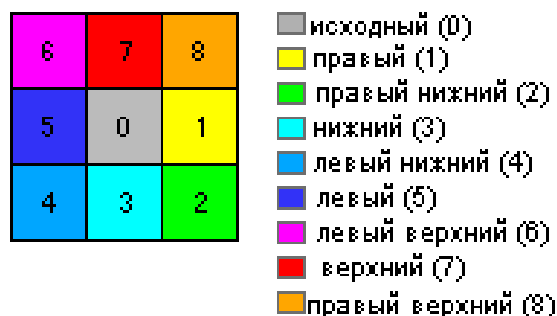


Рис. 2. Коды направления

Например, если выходной ячейке присваивается значение 5, то путь должен быть направлен в соседнюю ячейку слева. Если значение этой ячейки – 7, путь должен быть направлен на север, и так далее.

После создания растров накопительной стоимости и направления, из любой указанной ячейки-адресата или зоны можно получить маршруты оптимального пути.

Заключительным этапом является построение коридора для оптимального маршрута. Коридор иллюстрирует то, как изменится оптимальность передвижения при отклонении от маршрута наименьшей стоимости.

Реализованное на основе описанного в докладе алгоритма приложение было апробировано при построении оптимального маршрута для передвижения по бездорожью на территории московской и тульской областей. Инструмент разрабатывался для построения схем территориального планирования в области медицины, высшего образования, энергетики, транспорта (в том числе и трубопроводного транспорта), обороны и безопасности.

В настоящее время алгоритм используется в геоинформационной системе министерства здравоохранения РФ, при этом разработанное приложение отличается от ранее созданных систем меньшим объемом кода и высоким быстродействием.

Таким образом, с помощью реализации алгоритма, описанного в статье, можно решать проблемы отраслей, нуждающихся в оптимизации построения маршрута на сложном ландшафте.

Список литературы

1. Майкл ДеМерс – Географические информационные системы Издательство Дата+, 1999.
2. ПиньедеФу, ЦзюлиньСунь – Web Gis principles and applications ESRI Press, 2013.
3. Справка по arcgis [Электронный ресурс], – <http://resources.arcgis.com/ru/home/>

ВЧ ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 20 ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ, ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИЗДЕЛИЯ

Христолюбова В.И.

аспирант кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии
высокомолекулярных материалов» Казанского национального
исследовательского технологического университета,
Россия, г. Казань

Абдуллин И.Ш.

проф. кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии высокомолекулярных
материалов» Казанского национального исследовательского
технологического университета, д.т.н.,
Россия, г. Казань

Хубатхузин А.А.

доц. кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии высокомолекулярных
материалов» Казанского национального исследовательского
технологического университета, к.т.н.,
Россия, г. Казань

В работе приведен анализ влияния потока плазмы на износостойкость и долговечность деталей, изготовленных из стали 20, и стабильность их физико-механических и прочностных характеристик.

Ключевые слова: высокочастотная плазма, модифицирование поверхности, сталь 20.

Одним из важнейших показателей, определяющих спрос на проектируемый объект, является его качество. Обеспечение необходимого качества возможно при удовлетворении эксплуатационных требований, предъявляемых к деталям машин. Одной из наиболее перспективных обработок является плазменная технология, интенсивно разрабатываемая как в нашей стране, так и за рубежом [1-3]. Использование низкотемпературной плазмы эффективно не только для переплава металлов и сплавов; напыления износостойких, жаропрочных и коррозионностойких покрытий, но и для поверхностного упрочнения различных изделий.

В работе в качестве исследуемых образцов были выбраны пластины из стали 20. Сталь относится к конструкционному углеродистому классу. Образцы были обработаны в индукционном ВЧ разряде с целью дальнейшего исследования физико-механических свойств: микротвердость, шероховатость, модуль упругости, коэффициент упругого восстановления.

ВЧ-плазменная установка состоит из ВЧ генератора, вакуумного блока, системы питания рабочим газом, ВЧ плазмотрона и системы контроля каче-

ства. В данной установке используется ВЧ генератор, собранный по одно-контурной схеме, настроенных на индукционную нагрузку на частоте 1,76 МГц. Для изготовления разрядных камер плазмотрона использовалось кварцевое стекло. Причиной такого выбора послужили хорошая оптическая прозрачность, высокие термостойкость и механическая прочность, а также малость диэлектрических потерь кварца в используемом диапазоне частот. В установке реализованы струйные ВЧ разряды индукционного типа с соленоидальным индуктором.

Система питания плазмотрона рабочим газом состоит из баллона со сжатым газом, редуктора для понижения давления, образцового манометра и ротаметра для определения расхода газа и игольчатого натекавателя для регулирования расхода, устройства для получения смеси газов.

С целью установления закономерностей взаимодействия ВЧ-плазмы с поверхностью материалов проводилась обработка образцов при следующих параметрах: расход плазмообразующего газа 0,01 г/с, потребляемая мощность – от 2,5 до 10 кВт, частота генератора – 1,76 МГц. В качестве рабочего газа при исследовании процессов финишной очистки и нанополировки поверхностей использовался технически чистый аргон. Для повышения микротвердости поверхности изделия использовалась смесь газов из аргона и пропан-бутана в соотношении 70% на 30%. Предварительное давление в рабочей камере – от 1,33 до 13,3 Па, рабочее давление – от 13,3 до 133 Па [3-6]. После прекращения плазменного воздействия образцы либо подвергались интенсивному обдуву инертным газом, либо охлаждались до комнатной температуры в вакуумной камере.

Установлено, что значение твердости исследуемого образца увеличилось в среднем на 56%, при этом шероховатость уменьшается на 25%. Анализ характеристик стали, обработанной в плазме ВЧ разряда, показал, что физико-механические значения опытных образцов обладают улучшенными технологическими, эксплуатационными показателями по сравнению с контрольными.

Список литературы

1. Хубатхузин А. А. Повышение твердости и физико-механических свойств металлов и их сплавов с помощью ВЧ-плазмы пониженного давления / А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, В. И. Христолюбова // Вестн. Каз. Технологического Университета. – 2013. – Т. 16; №23. – С. 25 – 28.
2. Хубатхузин А. А. Электрофизические методы обработки углеродистой инструментальной стали У8 / А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, В. И. Христолюбова, Н. Р. Христолюбов // Вестн. Каз. Технологического Университета. – 2014. – Т. 17; №12. – С. 30-33.
3. Христолюбова В. И. Анализ физико-механических свойств металлорежущего и обрабатывающего инструмента при обработке ВЧ плазмой пониженного давления / В. И. Христолюбова, А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, Н. Р. Христолюбов // Вестн. Каз. Технологического Университета. – 2014. – Т. 17; №11. – С. 185-187.
4. Хубатхузин А. А. Особенности измерения физико-механических свойств нанопокровтий / А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, В. И. Христолюбова, С. В. Прокудин // Вестн. Каз. Технологического Университета. – 2014. – Т. 17; №2. – С. 39 – 42.

5. Христолюбова В. И. Анализ физико-механических свойств деталей спиральных насосов при обработке анодированием, эпиламинированием, ВЧ плазмой пониженного давления / В. И. Христолюбова, А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, Я. О. Желонкин // Техника и технологии: Межд. науч.-прак. конф., 23-25 июня 2014 г., Брянск. – Брянск, 2014. С. 77-80.

6. Христолюбова В. И. Применение высокочастотной плазмы для модификации внутренних поверхностей материалов / В. И. Христолюбова, А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин // Вестн. Каз. Технологического Университета. – 2014. – Т. 17; №7. – С. 187-189.

УПРОЧНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ АГРЕССИВНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА 1 К 100 С ПОМОЩЬЮ ВЧ-ПЛАЗМЫ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Христолюбова В.И.

аспирант кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии
высокомолекулярных материалов» Казанского национального
исследовательского технологического университета,
Россия, г. Казань

Абдуллин И.Ш.

проф. кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии высокомолекулярных
материалов» Казанского национального исследовательского
технологического университета, д.т.н.,
Россия, г. Казань

Хубатхузин А.А.

доц. кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии высокомолекулярных
материалов» Казанского национального исследовательского
технологического университета, к.т.н.,
Россия, г. Казань

В работе приведен анализ влияния потока плазмы на износостойкость и долговечность деталей и стабильность их физико-механических и прочностных характеристик.

Ключевые слова: высокочастотная плазма, модифицирование поверхности, внутренняя поверхность.

В настоящее время функциональные покрытия находят широкое применение в самых различных отраслях промышленности. Они используются для защиты материала деталей и узлов от коррозии, обеспечивают высокую твердость поверхности, уменьшают изнашивание, позволяют снизить себестоимость изделий. При обработке в ВЧ плазме пониженного давления упрочнение происходит не только на поверхности, но и в объеме изделия [1-3]. С целью защиты от изнашивания и повышения долговечности изделия и

других его характеристик выбранные детали из стали 30Х2НМФА были обработаны емкостным разрядом со следующими параметрами (таблица).

Таблица

Режимы обработки

Обработка вырезки трубы с подачей потенциала -5 В								
№	Р, кВт	Газ1	Q1, (мг/мин)	Газ2	Q2, (мг/мин)	U смещ, В	Р, Па	Time, мин
1	1200	Ar	44			-5	20	20
		Ar	44	CH4	2	-5	22	20

С помощью энергодисперсионного микрорентгенфлуоресцентного спектрометра M4 Tornado (Bruker) был проведен элементный анализ по усредненному спектру в точке.

Система контроля качества включает в себя методы неразрушающего контроля: профилометрия и наноиндентирования. Для измерения твердости используется сканирующий нанотвердомер «Наноскан-3D». Измерения механических свойств методом наноиндентирования регламентируются международным стандартом ISO 14577. Наиболее распространенным является метод, предложенный Оливером и Фарром [4-6].

Заданными параметрами при измерении являлись амплитуда колебаний кантилевера зонда при поиске поверхности при нанесении индента равная 10 нм, скорость нагружения при внедрении в поверхность образца при нанесении индента равная 1000 нм/с, время выстаивания зонда в нагруженном состоянии после внедрения в поверхность образца (выдержка при максимальной нагрузке) равная 10000 мс, продолжительность измерения термодрейфа в процессе индентирования – 60000 мс. Термодрейф измеряется на кривой разгрузки при индентировании. В данном случае термодрейф измерялся на уровне 15% от полной разгрузки зонда.

Поверхности обработанного образца сгладилась. Шероховатость образца снизилась на 70%. За счет газонасыщения поверхности и образования нанодиффузионных слоев увеличилась твердость исследуемого образца.

Описанные свойства позволяют сделать вывод о том, что произошло упрочнение поверхности изделия на глубину до 200 нм. Повышены прочностные свойства материала. Основным результатом является полировка металла с одновременным увеличением микротвердости.

Список литературы

1. Хубатхузин А. А. Повышение твердости и физико-механических свойств металлов и их сплавов с помощью ВЧ-плазмы пониженного давления / А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, В. И. Христолюбова // Вестн. Каз. Технологического Университета. – 2013. – Т. 16; №23. – С. 25 – 28.
2. Хубатхузин А. А. Электрофизические методы обработки углеродистой инструментальной стали У8 / А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, В. И. Христолюбова, Н. Р. Христолюбов // Вестн. Каз. Технологического Университета. – 2014. – Т. 17; № 12. – С. 30-33.
3. Христолюбова В. И. Анализ физико-механических свойств металлорежущего и обрабатываемого инструмента при обработке ВЧ плазмой пониженного давления /

В. И. Христюлова, А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, Н. Р. Христюлов // Вестн. Каз. Технологического Университета. – 2014. – Т. 17; №11. – С. 185-187.

4. Хубатхузин А. А. Особенности измерения физико-механических свойств нанопокровов / А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, В. И. Христюлова, С. В. Прокудин // Вестн. Каз. Технологического Университета. – 2014. – Т. 17; №2. – С. 39 – 42.

5. Христюлова В. И. Анализ физико-механических свойств деталей спиральных насосов при обработке анодированием, эпиламинированием, ВЧ плазмой пониженного давления / В. И. Христюлова, А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, Я. О. Желонкин // Техника и технологии: Межд. науч.-практ. конф., 23-25 июня 2014 г., Брянск. – Брянск, 2014. С. 77-80.

6. Христюлова В. И. Применение высокочастотной плазмы для модификации внутренних поверхностей материалов / В. И. Христюлова, А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин // Вестн. Каз. Технологического Университета. – 2014. – Т. 17; №7. – С. 187-189.

MONITORING ELECTROPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF HEART

Bodin O.N.

профессор кафедры «Информационно измерительная техника и метрология»
Пензенского государственного университета,
доктор технических наук, профессор,
Россия, г. Пенза

Polosin V.G.

доцент кафедры «Физика» Пензенского государственного университета,
кандидат технических наук, доцент,
Россия, г. Пенза

Seregin O.S.

студент кафедры «Информационно измерительная техника и метрология»
Пензенского государственного университета,
Россия, г. Пенза

The article deals with the problem of establishing quantitative information-her reflective properties of the observed object. The schemes of organization-process measurement and control, containing in its structure Ob-project monitoring and forming measures.

Keywords: measurement tools measure the Euclidean pro-space, function approximation, information entropy, monitoring electrophysiological parameters metric space.

In current clinical practice is widely used instruments for monitoring numerous physiological characteristics of the heart. Improvement of methods of medical diagnosis determines the prospects of development opportunities continuous monitoring and forecasting of the patient in monitoring.

In the process of monitoring the electrophysiological characteristics of heart problems arise, for which it is necessary to have quantitative information reflecting the properties of the observed object. The process of measurement is to compare

the properties of the object of study to measure the same property by technical means, which often contain in their structure and management controls. The basis of structural construction technical means of measurement and control there are characteristic common units and devices. Block diagram of the control process is given in figure 1, a., Which is controlled according to the control object value using the comparator is compared with a predetermined value of the measures of the same magnitude.

Thus, from scheme of organization of the processes of measurement and control, it follows that in the first place in the block diagram processes with-holding the object of observation and forming apparatus measures, and secondly, for the organization of the processes necessary to evaluate difference Δx between homogeneous object properties and actions. A key element in the monitoring system of the cardio-vascular system are autonomous medical instrumentation. Generalized functional block diagram of the transmitter of the bioelectrical activity of the heart consists of a biological object, the recording electrodes, power amplification and filtering, analog-to-digital converter, microcontroller digital signal processing, communication interfaces, databases.

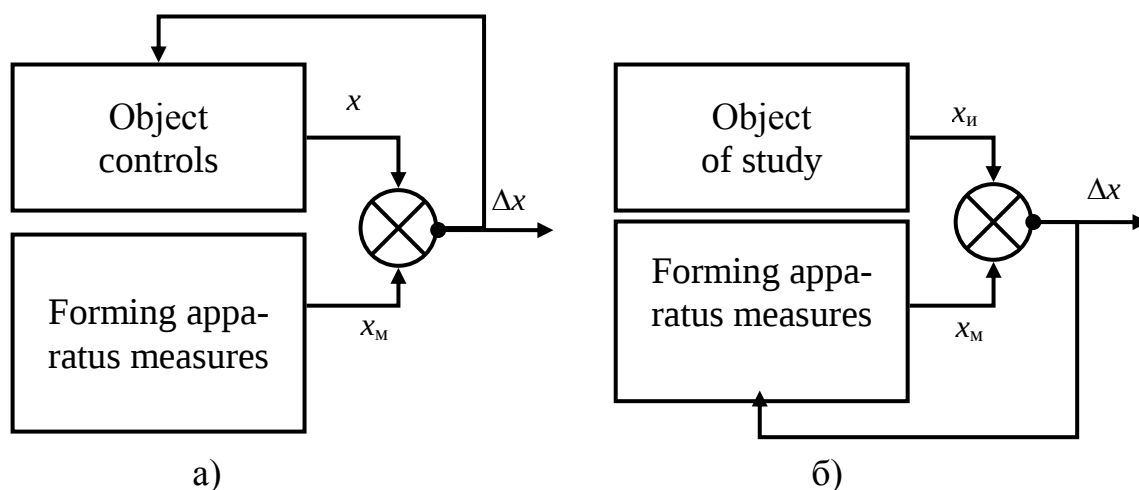


Fig. 1. Block diagrams:
 a) a control system;
 б) measuring.

The signal from the biological object via electrode is removed, whereupon its analog preprocessing is performed, amplification and filtering. Digital part intended to digitize the signal by an analog to digital converter (ADC), a digital processing using a microcontroller and sent to the database via the communication interface.

Effective monitoring and management of possible only with the inclusion of random perturbations. Classical methods of research and analysis of objects, based on the description of random effects using the correlation function and spectral density function, require considerable time, the use of sophisticated equipment, the use of additional material resources (use of reagents), which leads to difficulties in the application of classical methods of analysis. In such circumstances, the monitoring has to be carried out in the face of uncertainty about the perturbations that

such "information vacuum". [3] Thus, for solving the problem of monitoring cardiac electrophysiological characteristics is necessary to determine the quantitative information reflecting the statistical properties of the observed object.

The process of measurement is to compare the properties of the object of study to measure the same property by technical means, which often contain in their structure and management controls. From a consideration of the material as it is necessary that the organization of the comparison during the monitoring method is effective statistical analysis of the results for the period of time ECG cycle times, as it is possible on the basis of the initial assessment or central moments, and by comparing the information entropy approximating the distribution function and sample monitoring results.

Timing diagram ehlektrokardiosignala 1 (ECS) and the allocation of sample 2 counts for one diversion is shown in Fig. 2. The position of the sorted sample counts for the selected cardiac cycle illustrates the curve 3 and 4.

Thus, in the sample occurs storage counts corresponding to one cardiac cycle, with initial and final values are constantly changing during the receipt of new results. Isolation of the cardiac cycle duration T and the formation of a number of sorted values illustrates the change in the controlled curve. Changing the composition of the sample and its kollichestva values due to changes in cycle time leads to changes in the distribution and as a result, a change in its statistical parameters. Control of statistical parameters of the sampling can effectively track changes ehlektrokardiosignala and indicate the presence of disease in the output parameters of the controlled border.

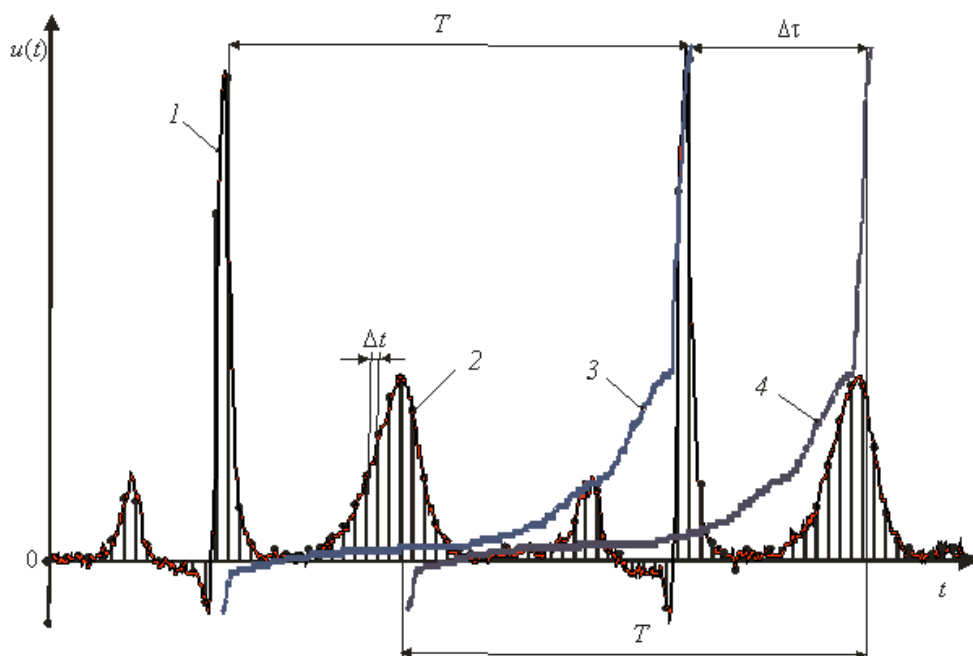


Fig. 2. Timing diagram ehlektrokardiosignala

The use of literature

1. Fedotov A.A, Aculov C.A Transmitters of the signals clinical monitoring systems. Radio and Communications, 2013. – 248 p.

2. Karlyuk E.S Design of modern recording of biomedical signals and monitoring. / Karlyuk E.S, Tkachenko, V.L, V.A Fesechko // Electronics and Communication, Part 1, 2008, p.166 – 171.

3. Lazarev V.L Entropy approach to monitoring and control. / Proceedings of the Academy of Sciences. Theory and control systems. 2005. №6, p. 61-68.

Научное издание

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ
СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

Сборник научных трудов
по материалам IX Международной научно-практической
конференции

г. Белгород, 31 марта 2015 г.

В шести частях
Часть II

Подписано в печать 13.04.2015. Гарнитура Times New Roman.

Формат 60×84/16. Усл. п. л. 8,83. Тираж 100 экз. Заказ 51.

ООО «ЭПИЦЕНТР»

308010, г. Белгород, ул. Б.Хмельницкого, 135, офис 1

ИП Петрова М.Г., 308000, г. Белгород, Народный бульвар, 70а