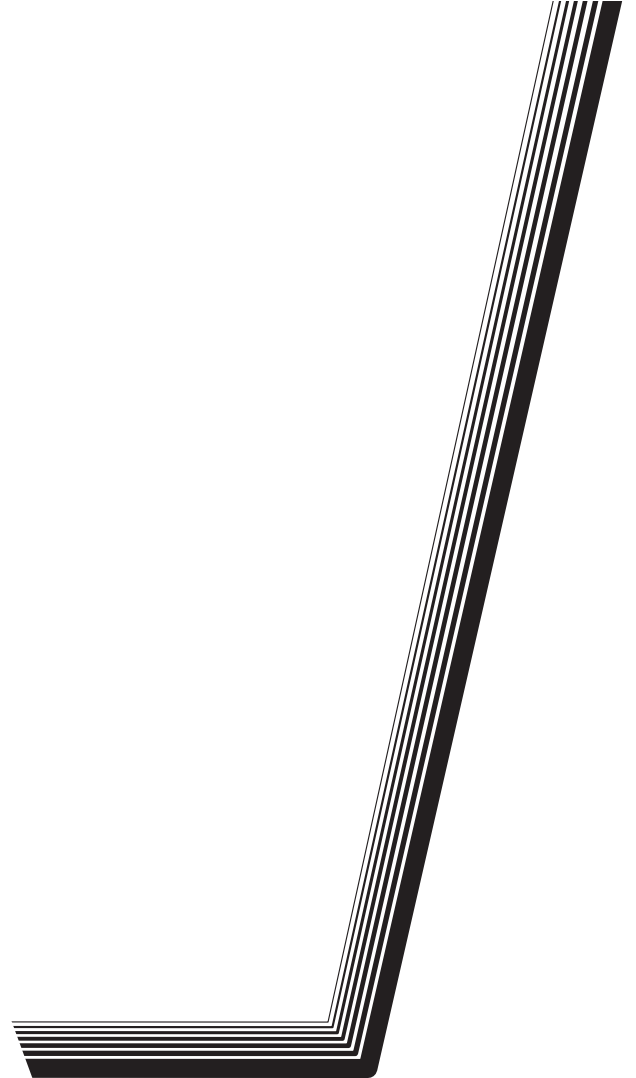


ВЕСТНИК



Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 6 (32)

(Издание осуществляется при содействии КГАУ «Красноярский
краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности»)

Красноярск 2010

ВЕСТНИК

Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 6 (32)

Главный редактор

доктор экономических наук
профессор
Г. П. БЕЛЯКОВ

Заместители главного редактора:

доктор технических наук
профессор
И. В. КОВАЛЕВ

доктор технических наук
профессор
Л. Г. ШАЙМАРДАНОВ

Редакционная коллегия:

С. С. АПЛЕСНИН
Е. Н. ГОЛОВЕНКИН
Ю. В. ЕРЫГИН
М. В. КРАЕВ
В. Д. ЛАПТЕНКО
А. Н. ЛОВЧИКОВ
А. В. МЕДВЕДЕВ
В. В. МОСКВИЧЕВ
В. А. ОХОРЗИН
К. Г. ОХОТКИН (отв. секретарь)
С. И. СЕНАШОВ
В. Г. СОМОВ

Учредитель

Сибирский
государственный
аэрокосмический
университет
имени академика
М. Ф. Решетнева

© Сибирский государственный аэрокосмический
университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2010
© Коллектив авторов, 2010

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

«Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева» (Вестник СибГАУ) – межрегиональный научный журнал, содержащий результаты научных исследований в области естественных, технических и прикладных наук по вопросам проектирования, производства и эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники, а также экономики

Представленные в журнал статьи публикуются после обязательного рецензирования и при оформлении их в соответствии с требованиями редакции (www.vestnik.sibsau.ru)

Периодичность – 4 раза в год
Специальный выпуск – 1 раз в год

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки (<http://www.elibrary.ru>) и сайте журнала (www.vestnik.sibsau.ru)

Журнал включен в каталоги:
русской прессы «Роспечать» (МАП) – 11399;
объединенный «Пресса России» – 39263

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, проспект имени газеты
«Красноярский рабочий», 31, П-415
Тел./факс (391)291-90-19
E-mail: vestnik@sibsau.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охраны культурного наследия, свидетельство ПИ № ФС77-22189 от 27.10.2005 г.

Журнал включен ВАК России в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук»

При перепечатке или цитировании материалов из журнала «Вестник СибГАУ» ссылка обязательна

Редакторы Т. Е. Ильющенко,
К. С. Мирошникова, Е. Г. НЕКРАСОВА
Редактор английского текста Е. А. ГОНЧАРОВ
Компьютерная верстка М. А. БЕЛОУСОВОЙ
Подп. в печать 30.12.2010. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 27,0.
Уч.-изд. л. 47,0. Тираж 1000 экз. С 159/10. Заказ 87/77.
Редакционно-издательский отдел
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
Отпечатано в типографии ИП Суховольской Ю. П.
660125, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 2.



ПЕРСПЕКТИВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА

Понятие «красноярский формат», рожденное на дискуссионных площадках Красноярского экономического форума, в последнее время приобрело более широкий смысл, обозначая феномен регионального подхода в самых разных областях и сферах жизнедеятельности: от решения локальных проблем до воплощения действующих моделей новой экономики.

Проекты, которые реализуются при участии Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности, актуальны и востребованны. И это только начало. Мы рассчитываем на дальнейшее расширение деятельности фонда и, соответственно, на ежегодный прирост количества финансируемых им интересных проектов. Поддержка научных достижений является неотъемлемой частью стратегии социально-экономического развития края. Мы живем в динамичном, постоянно меняющемся мире – мире инноваций. И любое отставание от «мирового научного локомотива» для нашего края могло бы обернуться значительными потерями в инвестиционной привлекательности, промышленном росте, уровне жизни населения.

Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности – это не только достояние сегодняшнего общества, но и будущее наших детей, наших внуков. И если мы продолжим работу в этом направлении, то, уверен, Красноярский край ждут хорошие перспективы. А наука всегда в этом поможет.

А. В. Усс

РОЛЬ КРАЕВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «КРАСНОЯРСКИЙ КРАЕВОЙ ФОНД ПОДДЕРЖКИ НАУЧНОЙ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ» В РАЗВИТИИ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Рассмотрен механизм государственной поддержки научной деятельности на примере деятельности Краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

Ключевые слова: автономное учреждение, приоритетные направления, поддержка науки, частно-государственное партнерство.

Красноярский край имеет ряд территориальных и экономических особенностей: это второй по площади регион Российской Федерации, при этом он как бы разделяет страну на две части – восточную и западную. Регион имеет слабозаселенные и богатые природными ресурсами северные территории, при этом относительно густонаселенные южные районы с высокотехнологичными производствами, такими как радиоэлектроника, аэрокосмическая и атомная промышленность.

Если говорить об экономических особенностях, то в последние годы существенно повысилась привлекательность Красноярского края для инвесторов. По темпам инвестиционных поступлений край занимает пятое место в России.

Среди 83 субъектов Федерации край входит в десятку крупнейших регионов-доноров, занимая седьмое место по объему валового продукта. Таким образом, край представляет собой уникальную площадку для апробации стратегических проектов, имеющих актуальность для всей страны.

Сегодня в крае делается ставка на создание новых и модернизацию уже существующих высокотехнологичных производств, которая, на наш взгляд, невозможна без соответствующего кадрового и научного сопровождения.

В Красноярском крае действуют 11 государственных и 2 негосударственных высших учебных заведения. Дополняет систему государственного высшего образования сеть филиалов негосударственных высших учебных заведений (преимущественно московских и Санкт-Петербургских). Филиалы негосударственных вузов ведут образовательную деятельность во всех городах края. По данным территориального органа государственной статистики, общее число обучающихся в вузах края – 112 094 студентов (из них 63 875 на дневной форме обучения), в настоящий момент в аспирантурах вузов и научных организаций края обучается 2 193 человек. Ежегодно около 300 аспирантов представляют к защите или защищают кандидатскую диссертацию [1].

Одним из прогрессивных элементов воспитания и подготовки специалистов с исследовательскими и практическими навыками является система организации и ведения научной деятельности студентов и молодых ученых. При этом весьма актуальными являются государственная поддержка талантливой молодежи, отбор, воспитание и целенаправленная подготовка нового поколения молодых высококвалифицированных специалистов, связывающих свою жизнь и работу с наукой.

В последние два десятилетия происходит ослабление внимания и недостаточное информационное и методическое обеспечение молодежной научной политики, что повлияло на воспроизводство научного потенциала в крае, в частности привело к отсутствию в науке преемственности поколений, что чревато серьезными последствиями. Из этого вытекает необходимость создания новой концепции в части организации и развития научной деятельности молодежи: разработка ее содержания, видов, форм, методов и механизмов обеспечения.

Правительством края разработаны основные принципы и механизмы в области молодежной политики в науке. Усовершенствована система управления краевой системой науки и высшего образования, включающая организационные нормативно-правовые и финансовые аспекты. Министерство образования и науки Красноярского края взаимодействует в решении поставленных перед ним задач с Советом ректоров вузов Красноярского края, Красноярским научным центром Сибирского отделения Российской академии наук, учреждениями науки и образования края и другими элементами системы на краевом уровне.

В крае ведется активная государственная поддержка молодых ученых, экспериментаторов, деятелей культуры в целях стимулирования и повышения престижа новаторства, а именно:

– в соответствии с Законом Красноярского края от 06.07.2006 г. № 19-5051 «О краевых именных стипендиях для студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования, расположенных на территории Красноярского края» ежегодно выплачиваются именные стипендии, которые носят имена выдающихся людей Красноярского края, учрежденные в целях поощрения и социальной поддержки студентов [2];

– в соответствии с Законом Красноярского края от 03.12.2004 г. № 12-2674 «Об образовании» учреждена Государственная премия Красноярского края для поощрения молодых работников образовательных учреждений профессионального образования, добившихся высоких результатов в педагогической деятельности и научных разработках, направленных на социально-экономическое развитие края. Законом Красноярского края от 08.12.2006 г. № 20-5422 внесены изменения в ст. 15 и 19 в Закон края «Об образовании», где существенно увеличены размеры государственных премий Красноярского края [3].

Недостаток кадрового потенциала, в первую очередь в сфере научно-инновационной деятельности, является сдерживающим фактором при развитии крупных проектов национального масштаба на территории Сибири и, в частности, в Красноярском крае.

В Красноярском крае ведется работа по следующим направлениям: развитию инфраструктуры поддержки научных исследований и разработок, стимулированию притока молодых высококвалифицированных научных кадров в систему высшего и послевузовского образования; разработке комплекса программных мероприятий по развитию кадрового и научного потенциала Красноярского края.

Таким образом, одним из немаловажных факторов инвестиционной привлекательности региона является результативность процесса формирования инновационной инфраструктуры.

Разработана Программа социально-экономического развития Красноярского края. Сегодня одной из главных задач является повышение благосостояния граждан Красноярского края за счет реализации крупных инвестиционных проектов, и здесь ключевую роль играет развитие кадрового и научного и потенциала.

В условиях ограниченных бюджетных возможностей правительство края стремится совершенствовать систему целевого финансирования инновационных проектов и прикладных разработок ученых высшей школы. С этой целью в 2008 г. в Красноярске было создано Краевое государственное автономное учреждение (КГАУ) «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности». Основной задачей фонда является финансирование прикладных исследований, опытно-конструкторских работ, привлечение инвестиций в науку, с использованием механизма частно-государственного партнерства, что позволило совместно с учеными вузов содействовать созданию малых предприятий по выпуску наукоемкой продукции.

Деятельность фонда осуществляется в строгом соответствии с государственным заданием, сформированным правительством Красноярского края, приоритетными направлениями государственной поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности в Красноярском крае, утвержденных постановлением Законодательного собрания края от 07.07.2009 г. № 8-3635П [4], Законом края «О государственной поддержке научной, научно-технической и инновационной деятельности на территории Красноярского края» от 10.07.2008 г. № 6-2000 [5].

Необходимо отметить, что разработка и внедрение инструментов поддержки инноваций является одним из основных приоритетов государственной политики на территории Российской Федерации на среднесрочную перспективу, в соответствии с бюджетным посланием Президента Российской Федерации о бюджетной политике в 2011–2013 гг.

Направления деятельности фонда следующие:

- организация регионального конкурса инициативных исследовательских проектов «Енисей» Российского фонда фундаментальных исследований;
- содействие в организации научной, научно-технической и инновационной деятельности студентов, аспирантов и молодых ученых Красноярского края;

– содействие в организации научно-образовательных мероприятий на территории Красноярского края;

– содействие в организации научно-технических исследований, разработок, инновационных программ и проектов для обеспечения конкурентных преимуществ экономики Красноярского края;

– содействие в организации социальных и гуманитарных исследований, разработок и инноваций, направленных на повышение качества жизни населения Красноярского края, выполнение функций заказчика научной, научно-технической и инновационной продукции;

– организация независимой экспертизы проектов и мероприятий (рис. 1).

Фонд поддерживает Координационный совет молодых ученых и специалистов Красноярского края, является неизменным партнером многих конференций, олимпиад и стажировок, активно стимулирует научно-инновационную деятельность студентов, аспирантов и молодых ученых, содействует созданию малых предприятий по выпуску наукоемкой продукции, что способствует сохранению кадров в крае и многократному увеличению эффективности их деятельности. Фонд также сотрудничает с крупнейшими предприятиями, такими как ОАО «Красноярский машиностроительный завод», ФГУП «Горно-химический комбинат», ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» и др.

По итогам 2009 г. учреждением профинансирована реализация 172 проектов и мероприятий 23 предприятий и организаций края на сумму свыше 100 млн руб., из которых финансирование из краевого бюджета составило 66 млн руб. В 2010 г. плановый показатель составляет 243 проекта и мероприятия, по состоянию на 15.11.2010 г. поддержано 37 предприятий и организаций с объемом финансирования свыше 154 млн рублей, из которых 110 млн рублей составляют средства краевого бюджета.

Основные параметры и показатели качества оказываемых учреждением государственных услуг при поддержке проектов приведены в табл. 1.

Основные параметры и показатели качества оказываемых учреждением государственных услуг при поддержке мероприятий приведены в табл. 2.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод о высокой эффективности и востребованности данного механизма в отношении поддержки научной и научно-технической деятельности на территории края, целесообразности его дальнейшего развития и совершенствования механизмов и направлений государственной поддержки научной и научно-технической деятельности.

Также необходимо отметить, что в 2010 г. предусмотрено 120 млн руб., в конкурсах по состоянию на 15.11.2010 г. участвовало 79 организаций, объем запрошенных субсидий превысил 620 млн руб. (рис. 2). Стоит отметить, что средний конкурс составляет 1 к 6 и востребованность оказываемых учреждением государственных услуг очень высока.

По итогам выполнения проектов, поддержанных учреждением в 2009–2010 гг., можно выделить ряд проектов, научно-технические результаты которых позволяют в 2011 г. осуществить на территории края:

- подготовку серийного производства свободнопоточной микроГЭС (заявители ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», ФГУП НПО «Радиосвязь»);
- организацию серийного производства беспилотных летательных аппаратов (заявители ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», ФГУП НПО «Радиосвязь»);
- разработку, испытания и внедрение элементов полезной нагрузки малых космических аппаратов (заявители ГОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М. Ф. Решетнева», ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»);

- серийное изготовление устройств и инструментов коррекции позвоночника (заявители ГОУ ВПО «Красноярский медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого», ОАО «Красноярский машиностроительный завод»);
- серийное производство борон и сепараторов семян (заявитель ООО НПО «Технорос»);
- разработку и внедрение в хирургическую практику высокотехнологичных изделий из материала нового поколения «Биопластан» и технологий их применения (заявители Институт биофизики СО РАН, ГОУ ВПО «Красноярский медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого») и др.

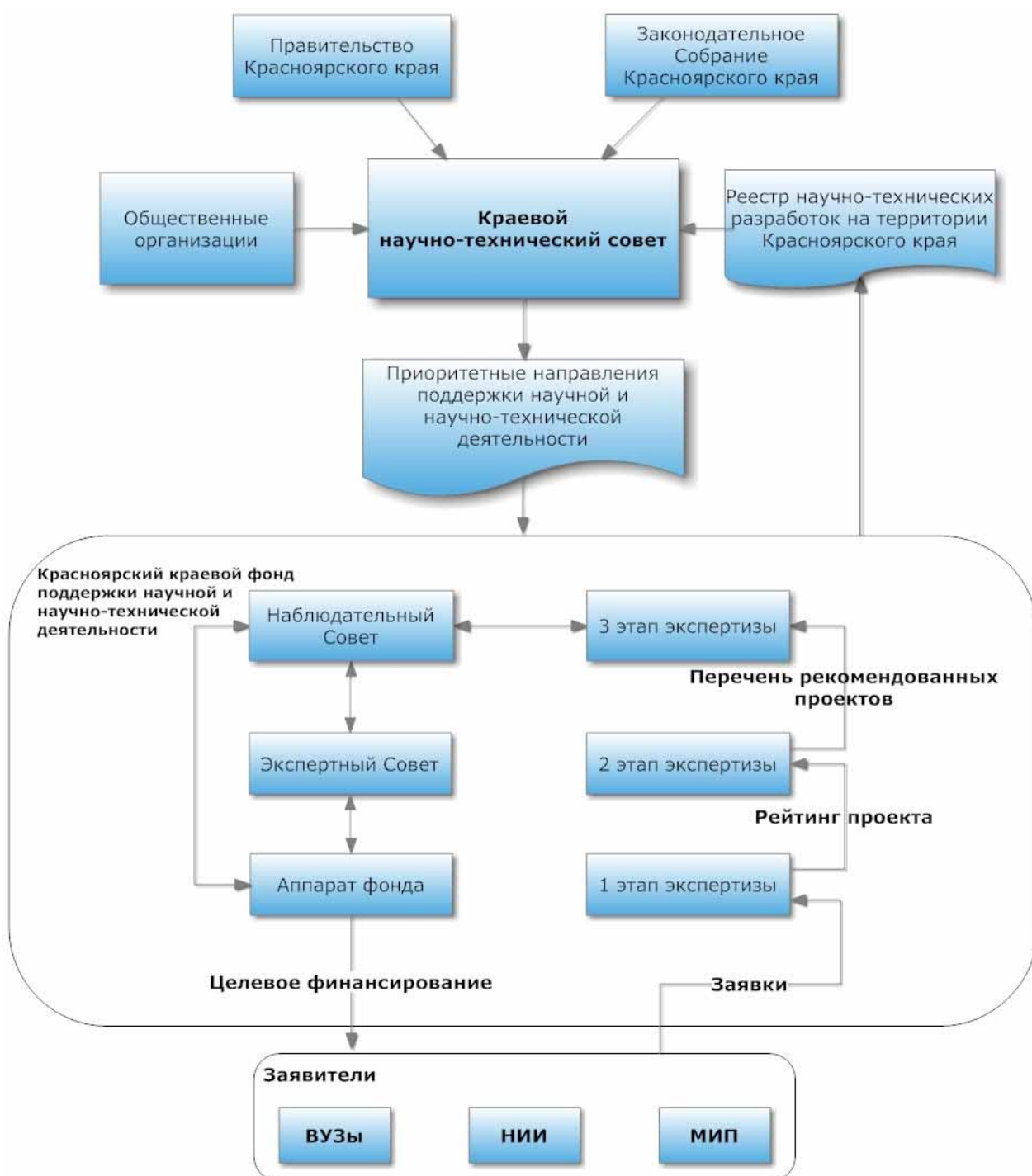


Рис. 1. Организация конкурсных процедур экспертизы



Рис. 2. Сравнительный анализ объемов запрошенных субсидий по отношению к объему выделенных учреждению средств в разрезе проведенных конкурсов по состоянию на 15.11.2010 г.

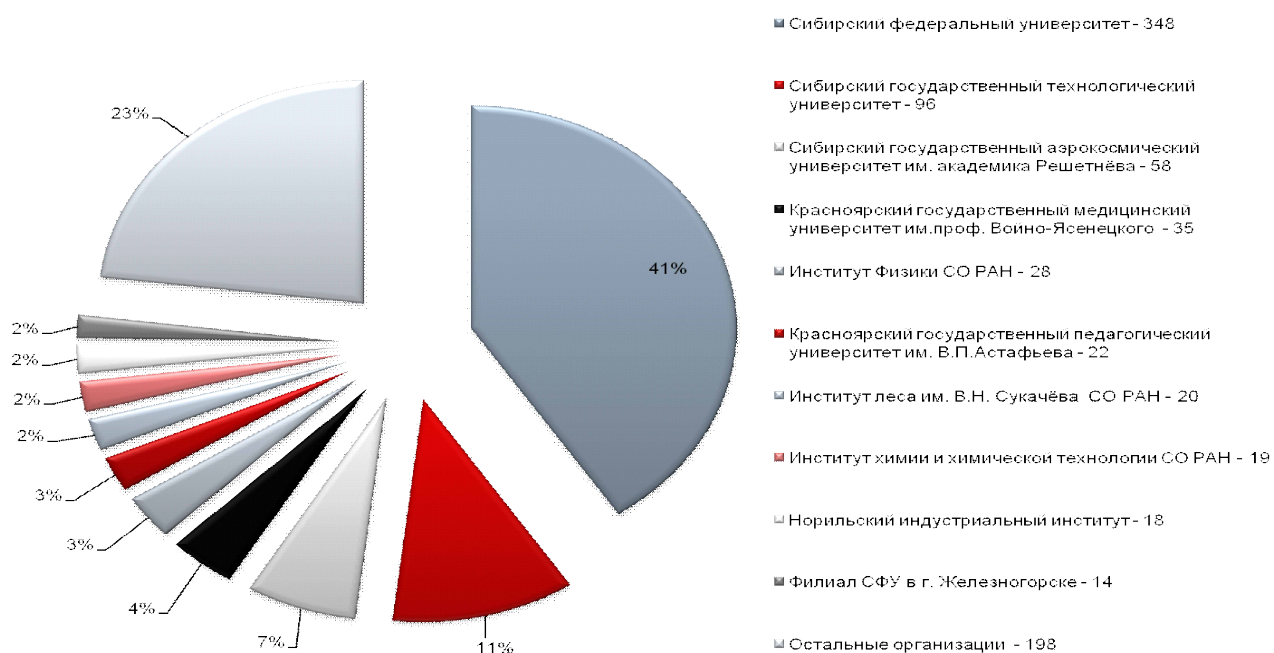


Рис. 3. Распределение количества заявок по юридическим лицам среди 10 лидеров

Таблица 1

Сравнительный анализ эффективности деятельности учреждения при поддержке проектов

Показатели	Годы	
	2009	2010
Объем целевого финансирования, млн руб.	60	104
Объем привлеченного софинансирования, млн руб.	30	41,5
Количество публикаций в ведущих международных журналах и из перечня Высшей аттестационной комиссии, ед.	68	126*
Количество договоров на внедрение научной деятельности, ед.	21	30*
Количество заявок на получение охранных документов на объекты интеллектуальной собственности, ед.	31	35*
Количество проектов, реализованных по заказу Законодательного собрания и органов исполнительной власти края	6	32

* По состоянию на 15.11.2010 г.

По экспертным оценкам внедрение результатов вышеуказанных проектов позволит получить объем инновационной продукции 0,7 млрд руб. в среднесрочной перспективе (рис. 3).

Фонд осуществляет поддержку научно-технического творчества молодежи, студенческих конструкторских бюро (СКБ), ориентированных на конкретные объекты конструирования, реализующих, по сути, проектный подход в деятельности. Моделью такой системы является программа «Студенческий спутник» в Сибирском государственном аэрокосмическом университете имени академика М. Ф. Решетнева. Если допустить СКБ к работе над заказами малых наукоемких предприятий и обучению по программам бизнес-школ, такая система начнет работать как кузница кадров для действующих и новых предприятий по разработке и выпуску наукоемкой продукции, т. е. как эффективный «бизнес-инкубатор». Не секрет, что названная форма пока не оправдывает возлагавшихся на нее надежд, но в предложенной конфигурации может оказаться реально действующим механизмом подготовки молодежи для активной профессиональной реализации. При этом желательно работать на межвузовской основе.

Таким образом, очевидна эффективность деятельности учреждения в отношении поддержки научной и научно-технической деятельности на территории Красноярского края, а также целесообразность его дальнейшего развития и совершенствования механизмов и направлений государственной поддержки.

Библиографические ссылки

1. Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю. URL: <http://www.krasstat.gks.ru/digital/region6/default.aspx> (дата обращения: 15.12.2010).
2. О краевых именных стипендиях для студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования, расположенных на территории Красноярского края : закон Краснояр. края : [от 06.07.2006 г. № 19-5051 ; подп. губернатором Краснояр. края 25.07.2006 г.] // КонсультантПлюс. URL: www.consultant.ru (дата обращения: 15.12.2010).
3. Об образовании : закон Краснояр. края : [от 03.12.2004 г. № 12-2674 ; подп. губернатором Краснояр. края 21.12.2004 г.] // КонсультантПлюс. URL: www.consultant.ru (дата обращения: 15.12.2010).
4. Об утверждении приоритетных направлений государственной поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности в Красноярском крае : постановление Законодательного собрания Краснояр. края : [от 07.07.2009 г. № 8-3635П] // КонсультантПлюс. URL: www.consultant.ru (дата обращения: 15.12.2010).
5. О государственной поддержке научной, научно-технической и инновационной деятельности на территории Красноярского края : закон Краснояр. края : [от 10.07.2008 г. № 6-2000 ; подп. губернатором Краснояр. края 23.07.2008 г.] // КонсультантПлюс. URL: www.consultant.ru (дата обращения: 15.12.2010).

Таблица 2

Сравнительный анализ эффективности деятельности учреждения при поддержке мероприятий

Показатели	Годы	
	2009	2010
Объем целевого финансирования, млн руб.	6	7
Объем привлеченного софинансирования, млн руб.	1,5	2,5
Количество поддержанных участников международных конференций, чел.	42	68*
Количество поддержанных научных мероприятий, ед.	30	45*

* По состоянию на 15.11.2010 г.

А. А. Iptyshev, Ya. Yu. Bybina

ROLE OF KSAI “KRASNOYARSK REGIONAL FUND OF SUPPORTING SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL ACTIVITIES” IN THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL COMPLEX OF KRASNOYARSK REGION

In this article the mechanism of government support for scientific work will be discussed.

One of the most successful examples of such mechanism is KSAI “Krasnoyarsk regional fund of supporting scientific and technological activities”.

Keywords: autonomous institution, priorities, support of science, Public-Private Partnership.

© Иптышев А. А., Быбина Я. Ю., 2010

РАЗДЕЛ
1



МАТЕМАТИКА,
МЕХАНИКА,
ИНФОРМАТИКА



Г. М. Алдонин, А. М. Алешечкин, С. П. Желудько, И. И. Хамнагадаев, Д. А. Кушель

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ*

Представлен разработанный в лаборатории медицинского приборостроения института инженерной физики и радиозлектроники (ИИФирЭ) Сибирского федерального университета (СФУ) аппаратно-программный комплекс на базе холтеровских кардиомониторов МКМ-09 с возможностью дистанционной передачи информации о функциональном состоянии организма в диагностический центр.

Ключевые слова: мониторинг функционального состояния организма, аппаратно-программные средства, теле-медицина, рекордеры холтеровского типа, артериальное давление, время распространения пульсовой волны.

В связи с широким распространением сердечно-сосудистых заболеваний необходимо создание средств оперативного контроля сердечно-сосудистой деятельности (ССД). В системах обработки биосигналов важно в максимальной степени обеспечить извлечение содержащейся в них информации. Национальные рекомендации ВНОК и ОССН по диагностике и лечению ХСН [1] устанавливают основные «зоны интереса» при клиническом обследовании больного сердечной недостаточностью (табл. 1).

В современных европейских рекомендациях по диагностике и лечению артериальной гипертензии указано, что маркером «субклинического поражения органов» при артериальной гипертензии является определение лодыжечно-плечевого индекса ($< 0,9$) и скорости распространения пульсовой волны (> 12 м/с) [2]. Последний показатель отсутствовал в национальных рекомендациях по профилактике, диагностике и лечению артериальной гипертензии, но, вероятно, будет включен в них после очередного пересмотра [3].

В соответствии с этими рекомендациями разработан аппаратно-программный комплекс (АПК) полифункционального мониторинга состояния организма человека на основе рекордера холтеровского типа МКМ-09 (рис. 1) с расширенными функциональными возможностями в отличие от существующих в стране и за рубежом.

АПК позволяет извлекать дополнительную информацию из совместного анализа различных биосигналов и их производных, например информацию о состоянии магистральных сосудов и изменении артериального сосу-

дистого тонуса по скорости распространения пульсовой волны. Отличием программного обеспечения АПК на базе МКМ-09 является обеспечение структурного анализа биопроцессов и биосигналов нелинейными методами теории самоорганизации. Структурная организация биопроцессов (кардиоритма) и биосигналов биосистем выявляется при их вейвлет-преобразованиях. Она наглядно отражается на вейвлет-диаграммах и биопроцессов, и биосигналов.



Рис. 1. Аппаратно-программный комплекс мониторинга функционального состояния организма человека на основе рекордера холтеровского типа МКМ-09

Таблица 1

Шкала оценки клинического состояния при ХСН (ШОКС) (модификация В. Ю. Мареева, 2000)

1	Одышка: 0 – нет, 1 – при нагрузке, 2 – в покое
2	Изменился ли за последнюю неделю вес: 0 – нет, 1 – увеличился
3	Жалобы на перебои в работе сердца: 0 – нет, 1 – есть
4	В каком положении находится в постели: 0 – горизонтально, 1 – с приподнятым головным концом (2 + подушки), 2 – плюс просыпается от удушья, 3 – сидя
5	Набухшие шейные вены: 0 – нет, 1 – лежа, 2 – стоя
6	Хрипы в легких: 0 – нет, 1 – нижние отделы (до 1/3), 2 – до лопаток (до 2/3), 3 – над всей поверхностью легких
7	Наличие ритма галопа: 0 – нет, 1 – есть
8	Печень: 0 – не увеличена, 1 – до 5 см, 2 – более 5 см
9	Отеки: 0 – нет, 1 – пастозность, 2 – отеки, 3 – анасарка
10	Уровень САД: 0 – > 120 мм рт. ст., 1 – (100...120 мм рт. ст.), 2 – < 100 мм рт. ст.

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

АПК позволяет извлекать дополнительную информацию из совместного анализа различных биосигналов и их производных, например фотоплетизмографическую информацию о состоянии сосудов и изменении артериального сосудистого тонуса по скорости распространения пульсовой волны.

Холтеровский кардиомонитор МКМ-09 предназначен для накопления в режимах офлайн и онлайн КИ, электрокардиосигналов (ЭКС) и пульсовой волны (ПВ) кровотока, записи фонокардиограмм (ФКГ) и данных о сосудистом тоне в цифровом виде от 5 мин до 24 ч. Фонокардиография обеспечивает регистрацию сердечных тонов и сердечных шумов. Фотоплетизмография применяется для исследования артериальной системы у человека, дает возможность оценить состояние артерий эластического и мышечного типа, состояние венозного, артериального давления.

Сигналы передаются в персональный компьютер (ПК) для последующей их обработки и статистического, спектрального и структурного анализа кардиоинформации. Обеспечивается суточное мониторирование кардиосигналов и возможность их передачи лечащему врачу по существующей инфокоммуникационной инфраструктуре, в частности, по сотовой связи.

Аналоговая часть прибора содержит два канала: канал электрокардиосигнала и канал ПВ, к которым подключены соответственно электроды ЭКГ и фотоплетизмографический датчик. В цифровую часть входит микроконтроллер, АЦП, жидкокристаллический (ЖК) дисплей, кнопки управления, индикатор R-зубца и карта памяти ММС. АЦП по команде микроконтроллера преобразовывает аналоговый сигнал усилителей, приходящих на входы цифровой части. В зависимости от выбранного режима, эти сигналы либо сохраняются в карте памяти, либо по интерфейсу USB передаются на компьютер.

С помощью кнопок управления и меню на ЖК-панели выполняется управление прибором и считывание статусной информации по работе. Для дальнейшей обработки сигналов и формирования базы данных сигналы в цифровом виде передаются в персональный компьютер (ПК).

Для объективного анализа состояния сердечно-сосудистой системы необходим постоянный контроль проводящей нервной системы и сосудистой системы сердца, статистический и спектральный анализ биосигналов каждой из систем. Примеры отчетов диагностики ФСО приведены на рис. 2, 3. Программное обеспечение KSRG и «Диагностика» обеспечивает анализ основных парамет-

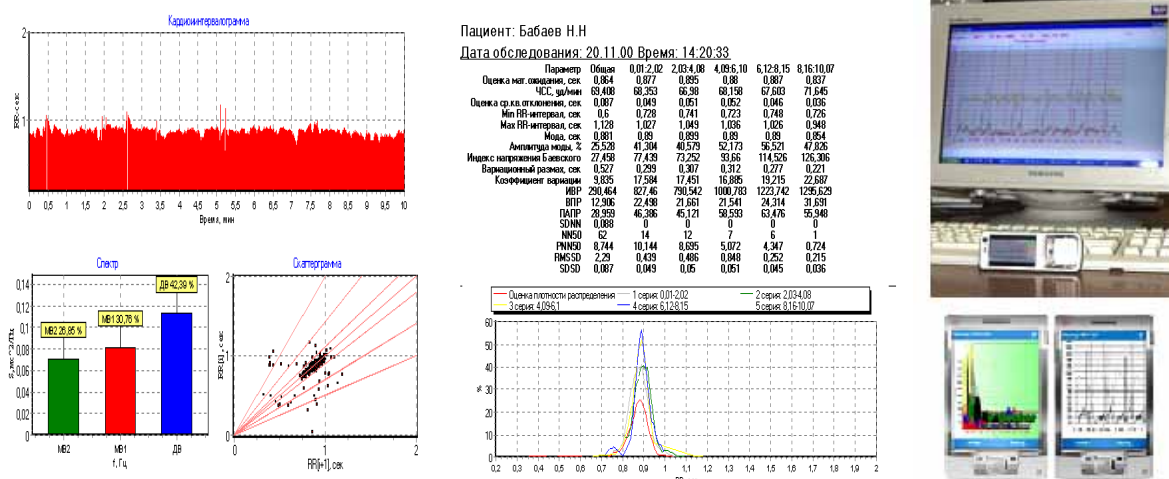


Рис. 2. Примеры отчетов ВСП-диагностики (слева и в центре); передача отчетов по сотовой связи (справа)

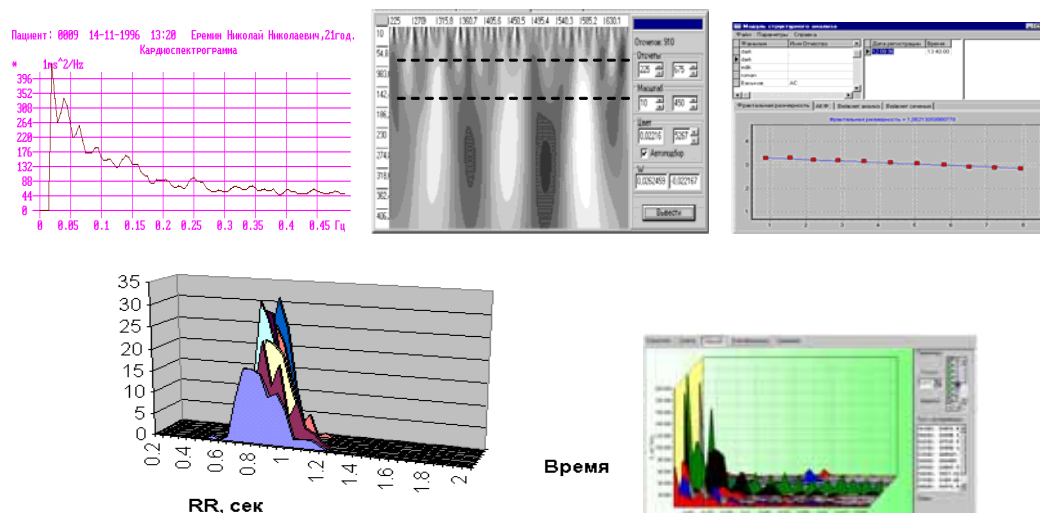


Рис. 3. КИГ, фурье- и вейвлет-спектр КИГ, определение ее фрактальной размерности (*вверху*); динамика гистограмм кардиоритма, динамика спектра кардиоритма (*внизу*)

ров гемодинамики: КИГ, ЭКГ, ПВ, ФКГ, контроль изменения артериального давления ($АД_p$) на основе измерения времени распространения пульсовой волны (ВРПВ). Определяются восемнадцать параметров по вариабельности сердечного ритма (ВСР-диагностики) [4], индекс напряжения (ИН) (стресс-индекс), индекс эффективности (ИЭ) коррекции функционального состояния организма [5], индекс сосудистого тонуса (ИСТ).

Отличием программного обеспечения АПК на базе МКМ-09 является обеспечение структурного анализа биопроцессов и биосигналов нелинейными методами теории самоорганизации. Структурная организация биопроцессов (кардиоритма) и биосигналов биосистем выявляется при их вейвлет-преобразованиях. Она наглядно отражается на вейвлет-диаграммах (рис. 4).

Скелетные функции (скелетоны) вейвлет-преобразования, как картина линий локальных экстремумов поверхностей, выявляют структуру анализируемого процесса. В ренормгрупповом подходе скейлинги скелетных функций показывают масштабную инвариантность или самоподобие. Оценкой структурной организации гомеостаза в ультраметрическом пространстве является фрактальная размерность деревьев Кейли.

Биосистемы как высокоорганизованные структуры обладают гармонической квазикристаллической симметрией и фрактальной самоорганизацией по принципу масштабнo-инвариантного самоподобия. В синергетическом аспекте это определяет их фрактальную структуру с выраженным самоподобием их элементов, имеющих масштабный порядок, или скейлинг. Фрактальная структура квазикристаллического типа, масштабнo-инва-

риантное самоподобие (скейлинг), спектр вида $1/f^\beta$ являются признаками самоорганизации в природных системах и критерием структурной устойчивости биосистем. Установление определенного скейлинга представляет интерес в диагностике нормы, преморбидности и патологии состояния здоровья, а фрактальная размерность деревьев Кейли вейвлет-диаграмм является количественной мерой структурной организации биосистем. Структурная организация биопроцессов (кардиоритма) и биосигналов биосистем выявляется при их вейвлет-преобразованиях.

При мониторинге сердечно-сосудистой системы также важно контролировать изменение артериального давления ($АД$). В последнее время все больший интерес проявляется к контролю состояния артериального и венозного сосудистого тонуса по скорости распространения пульсовой волны [6]. Линейная скорость кровотока по артериям в норме у здоровых лиц обычно не превышает 0,5 м/с, тогда как скорость распространения пульсовой волны по сосудам эластического типа составляет 5,0...7,0 м/с, по сосудам мышечного типа – 5,0...8,0 м/с. С возрастом эластичность сосудов снижается и это приводит к увеличению скорости распространения пульсовой волны, что позволяет количественно оценить с помощью измерения времени распространения пульсовой волны (ВРПВ) параметры кровотока в сосудах различных отделов кровеносной системы. Особенно повышается скорость распространения пульсовой волны по эластическим сосудам с развитием атеросклероза и при наличии неадекватно леченной артериальной гипертензии [7–9]. Известно, что скорость распространения пульсовой волны коррелиру-

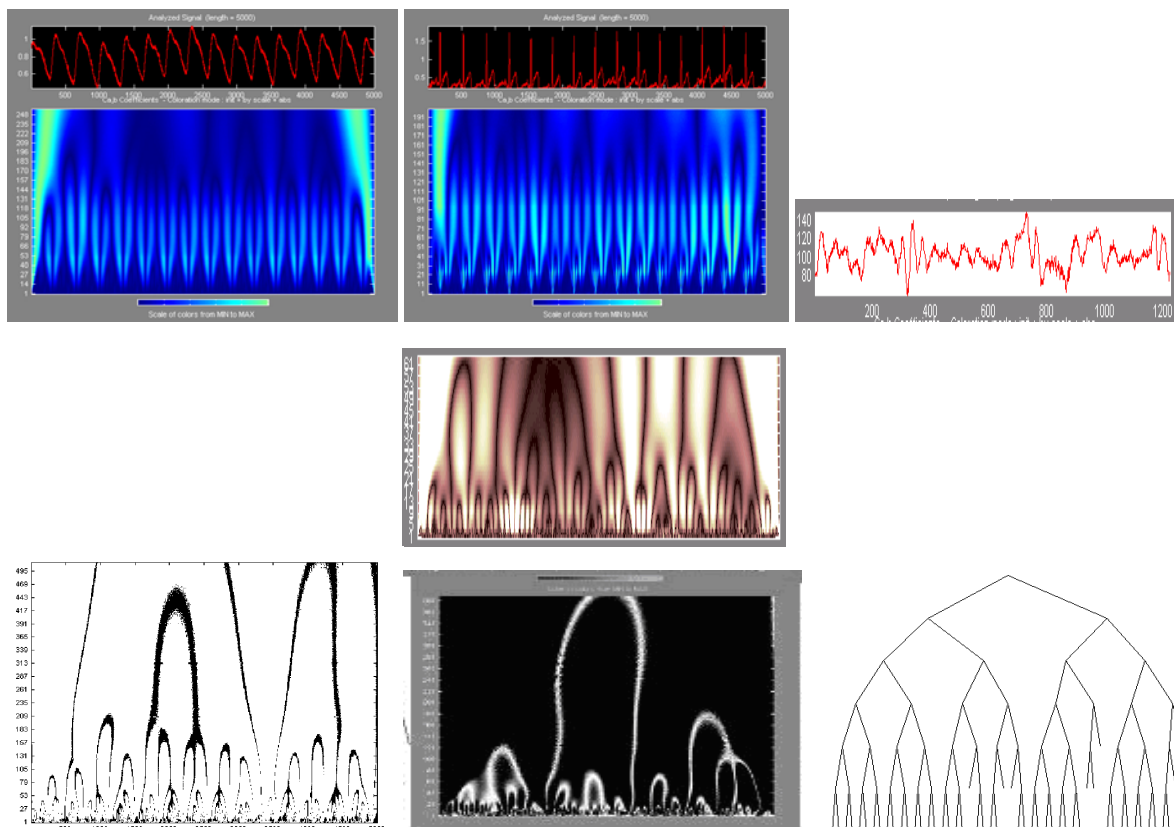


Рис. 4. ФКС, ЭКГ, ПВ их вейвлет-преобразование (вверху) и скелетоны (внизу)

ет с показателями смертности от любых причин, в том числе от сердечно-сосудистых заболеваний [10].

Совместный анализ ЭКС и ПВ позволяет оценить состояние сосудов эластического и мышечного типа по показателям скорости распространения пульсовой волны и модуля упругости.

Совместный анализ ЭКС и ПВ позволяет мониторировать состояние артериального давления с помощью ВРПВ, поэтому наряду с мониторингом ЭКС, ФКС и ПВ существует возможность теми же аппаратными средствами контролировать такой важный показатель ФСО, как состояние сосудистого тонуса и его реакцию на какие-либо воздействия.

Изменение состояния артериального сосудистого тонуса сказывается на времени распространения пульсовой волны (ВРПВ), которая измеряется по отсчетам задержки между R-зубцом ЭКС и максимумом ПВ (рис. 5).

Временной отрезок между ними ΔT означает ВРПВ в систолической τ_c и диастолической τ_d фазе:

$$T_{\max \text{ ПВ}} - T_{\max \text{ ЭКС}} = \tau_c; T_{\min \text{ ПВ}} - T_{\max \text{ ЭКС}} = \tau_d.$$

Для оценки состояния ФСО целесообразно объединить основные характеристики сосудистого тонуса в общий функционал в виде индекса сосудистого тонуса (ИСТ), величина которого, с одной стороны, зависит от ВРПВ, а с другой – отражает разность ВРПВ в систолической τ_c и диастолической τ_d фазе:

$$\text{ИСТ} = T_{\tau_c}^{\tau_d}.$$

Экспериментальные измерения задержки ВРПВ от изменения САД приведены в табл. 2 и на рис. 6. ВРПВ изменялось за счет изменения давления при нагрузке. В качестве нагрузки использовались приседания от 5 до 20 раз. Разность ВРПВ до, после и во время восстановления показывает однозначную связь ВРПВ с артериальным давлением в сосуде, измеренным сертифицированными амбулаторными мониторами BPLab и автоматическим монитором кровяного давления A&D Medical и ВРПВ, измеренным МКМ-09 (рис. 7).

Статистическая обработка данных (рис. 8) дает основания считать оценку ВРПВ достоверной ввиду ее близости к нормальному закону распределения.

Аппаратно-программные средства контроля ФСО разработаны для кардиолога, терапевта, валеолога, психолога, специалистов по функциональной диагностике и могут использоваться как в клинических, так и бытовых условиях. АПК на базе холтеровских кардиомониторов МКМ-09 имеет возможность дистанционной передачи информации о функциональном состоянии организма (ФСО) в диагностический центр. В отличие от существующих в стране и за рубежом аналогов, разработанный АПК позволяет извлекать дополнительную информацию из совместного анализа различных биосигналов и их производных, обладает достаточной универсальностью и доступностью для широкого применения в клинической практике, в амбулаторных и бытовых условиях.

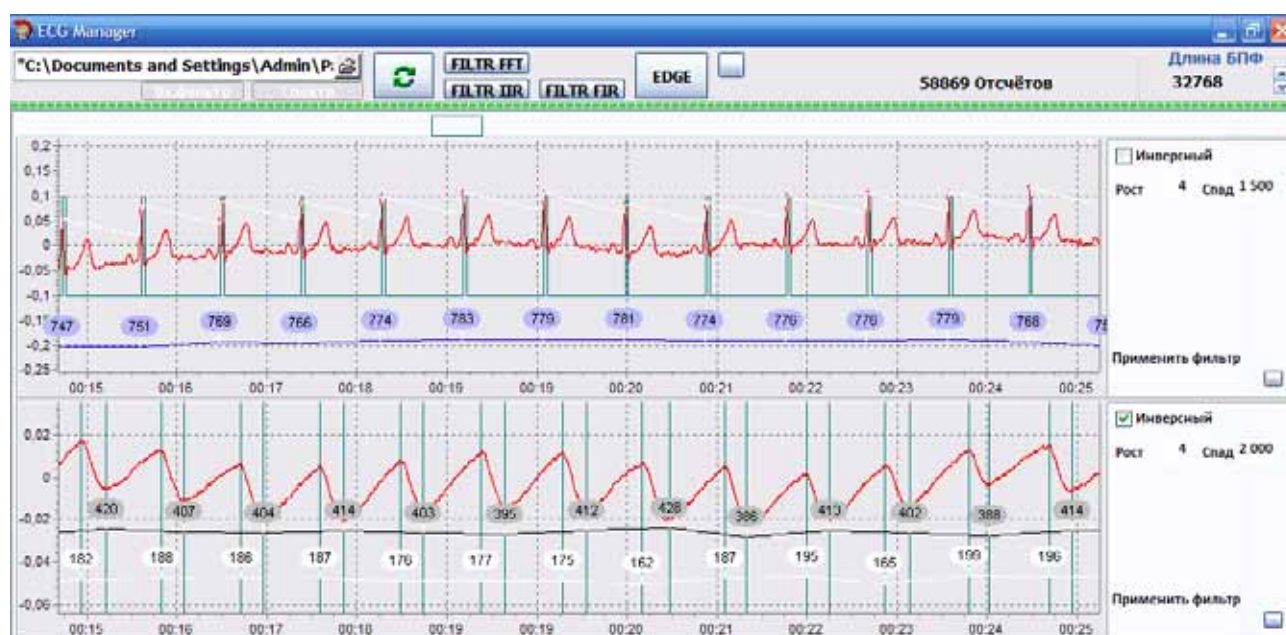


Рис. 5. Совместная запись сигналов ЭКГ и ПВ и измерение времени распространения пульсовой волны (ВРПВ) в фазе систолы (верхняя линия) и диастолы (нижняя линия)

Таблица 2

**Измерение ЧСС, ДАД, САД
на мониторе BPLab и ВРПВ на МКМ-09**

ФИО	Возраст	Этап	САД	ДАД	Пульс	Разность			Среднее
Е. Е.	20	До	122	63	87	0,176	0,176	0,176	0,176
		После	156	84	102	0,150	0,144	0,156	0,150
		Восстановление	133	70	83	0,180	0,186	0,180	0,182

Библиографические ссылки

1. Национальные рекомендации ВНОК и ОССН по диагностике и лечению ХСН (третий пересмотр) [Электронный ресурс]. 2010. URL: <http://www.cardiosite.ru/articles/Article.aspx?articleid=10512&rubricid=13> (дата обращения: 15.12.2010).
2. The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension and of the European Society of Cardiology. 2007 Guidelines for the management of arterial hypertension // J. Hypertens. 2007. Vol. 25. P. 1105–1187.
3. Национальные рекомендации по диагностике и лечению артериальной гипертонии / ВНОК. Российское медицинское общество по артериальной гипертонии // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2008. № 7(6). Прил. 2.

4. Алдонин Г. М. Робастность в природе и технике. М.: Радио и связь, 2003.
5. Алдонин Г. М., Желудько С. П. Индекс эффективности коррекции функционального состояния организма // J. of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2009. № 3. С. 311–317.
6. Аппаратура для контроля среднего артериального давления : свидетельство на полез. модель РФ № 35064 U1 / В. А. Кац, В. А. Клочков, В. А. Дементьевский, О. Н. Шерстюкова. Опубл. 27.12.2003.
7. Исследование скорости распространения пульсовой волны и эндотелиальной функции у здоровых и пациентов с сердечно-сосудистой патологией / Ю. И. Гурфинкель, Н. В. Каце, Л. М. Парфенова и др. / Рос. кардиол. журн. 2009. № 2. С. 38–43.
8. Impact of aortic stiffness on survival in end-stage renal disease / J. Blacher, A. P. Guerin, B. Pannier // Circulation. 1999. 99. 2434–9.

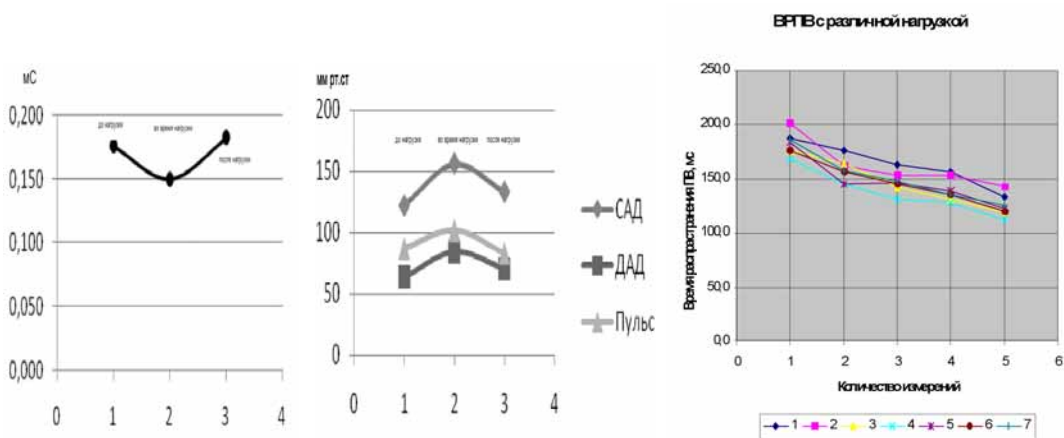


Рис. 6. Измерение ВРПВ рекордером МКМ-09 (слева); ЧСС, САД и ДАД на трех этапах на мониторе VPLab (в центре) ВРПВ семи пациентов на пяти этапах (справа): 1 – до нагрузки; 2 – после 5 приседаний; 3 – после 10; 4 – после 15; 5 – после 20 приседаний

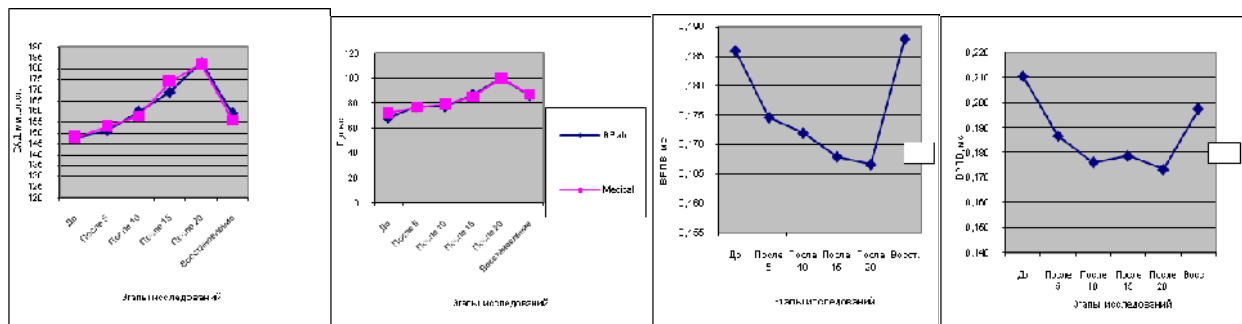


Рис. 7. Графики САД, ДАД, ЧСС монитором VPLab и автоматическим монитором давления A&D Medical (первый и второй слева) и ВРПВ с монитором МКМ-09 (первый и второй справа)

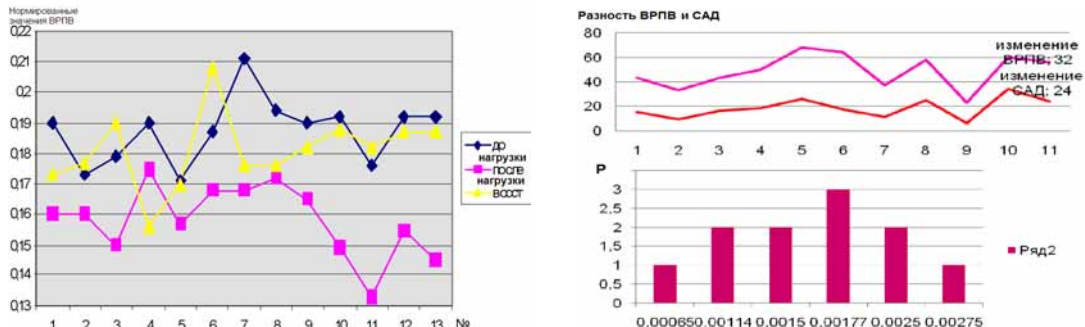


Рис. 8. Нормированные значения ВРПВ 14 пациентов (слева); статистическая оценка распределения разностей ВРПВ и САД (справа)

9. Недогада С. В., Чаляби Т. А. Сосудистая жесткость и скорость распространения пульсовой волны: новые факторы риска сердечно-сосудистых осложнений и мишени для фармакотерапии // Consilium-medicum. 2006. № 4. Т. 01. URL: http://old.consilium-medicum.com/media/bss/06_04/34.shtml (дата обращения: 15.12.2010).

10. London G., Guerin A. Influence of arterial pulse and reflective waves on systolic blood pressure and cardiac function // J. Hypert. 1999. Vol. 17 (Suppl. 2). P. 3–6.

G. M. Aldonin, A. M. Aleshechkin, S. P. Zheludko, I. I. Hamnagadaev, D. A. Kuzhel

HARDWARE AND SOFTWARE CONTROL OF CARDIOVASCULAR SYSTEM

In the laboratory, the Institute of Medical Instrument Engineering Physics and Radioelectronics Siberian Federal University (SFU) has developed hardware and software systems based on Holter heart monitor MKM-09 with remote transmission of information on the functional status of the organism in the diagnostic center, with sufficient flexibility and accessibility for a wide use in clinical practice, in outpatient and residential settings.

Keywords: monitoring the functional state of the organism, the hardware-software, telemedicine, Holter Recorders type, blood pressure, time of pulse wave.

© Алдонин Г. М., Алешечкин А. М., Желудько С. П., Хамнагадаев И. И., Кузель Д. А., 2010

УДК 621.396.677.851

А. М. Александрин, Р. О. Рязанцев, Ю. П. Саломатов

ИССЛЕДОВАНИЕ КВАЗИОПТИЧЕСКИХ СТРУКТУР ИЗ ИСКУССТВЕННОГО ДИЭЛЕКТРИКА В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ*

Рассмотрены способы построения квазиоптических структур – линз из неоднородного диэлектрика, проведен расчет неоднородного диэлектрика на основе тонких слоев переменных размеров и перфорированного однородного материала, приведены данные моделирования и экспериментов.

Ключевые слова: неоднородный диэлектрик, линза Лüneберга, линза Микаэляна.

Линзы из неоднородного диэлектрика известны давно. Однако изготовление таких линз наталкивается на технологические трудности и часто затраты на производство материалов с изменяющимися вдоль координат диэлектрическими параметрами слишком высоки. В некоторых случаях неоднородный диэлектрик можно представить в виде некоторой структуры из однородного диэлектрика, применяя специальные алгоритмы перфорации материала, как и некоторые другие способы.

Сферическая линза Лüneберга. В общем случае линза Лüneберга представляет собой диэлектрическую сферу, в которой коэффициент преломления n зависит от радиуса по следующему закону [1]:

$$n(r) = \sqrt{2 - \left(\frac{r}{R}\right)^2}, \quad (1)$$

где R – радиус сферы; r – расстояние от центра линзы. Такая сфера преобразует сферический волновой фронт облучателя в плоский. Линза Лüneберга позволяет осуществлять сканирование в полном пространственном ди-

апазоне углов без искажения диаграммы направленности (ДН). Сканирование в сферической линзе обычно осуществляется переключением нескольких облучателей, расположенных на ее поверхности. Линза Лüneберга является идеальным устройством для широкоугольного неискаженного сканирования. Этим объясняется большой интерес, который проявляется к линзам данного типа.

Ранее были рассмотрены варианты создания искусственного диэлектрика и линз Лüneберга из материала с постоянной диэлектрической проницаемостью [2; 3]. Вид одной из моделей в разрезе приведен на рис. 1.

Модель состоит из множества слоев диэлектрика вдоль радиуса по вертикали, с изменением диаметра слоя вдоль радиуса линзы по горизонтали. Вертикальному и горизонтальному направлениям соответствуют направления осей y и z на рис 2. Вариация диаметра слоя диэлектрика имитирует изменение n вдоль радиуса линзы. Для исследований был использован материал с $\varepsilon = 1,6$. Возможно использование другого материала – в зависимости от ε материала будет изменяться положение фокуса линзы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

Моделирование производилось при помощи CST Studio Suite.

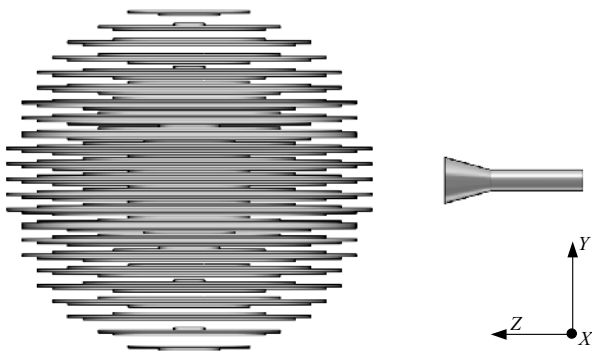


Рис. 1. Модель линзы Лüneберга из слоев материала с постоянной диэлектрической проницаемостью в разрезе

Расчетный рабочий частотный диапазон антенны 20...30 ГГц. Диаметр линзы составляет 160 мм, возбуждение производится коническим рупором с уровнем облучения края линзы –10 дБ. КНД на частоте 25 ГГц составил 30,7 дБ. Уровень боковых лепестков в диапазоне 20...30 ГГц в плоскости E не более –17,5 дБ, в плоскости H не более –19,5 дБ. Расчетная зависимость КНД антенны от частоты приведена на рис. 2.

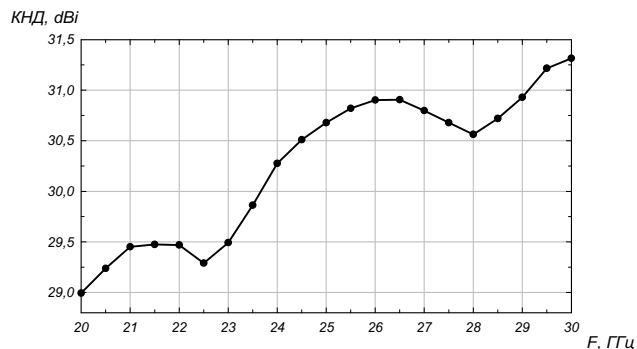


Рис. 2. Расчетная частотная зависимость КНД-антенны

С целью экспериментального исследования было выполнено макетирование антенны (рис. 3). Для изготовления макета был применен вспененный полимер с $\varepsilon = 1,6$. Конструкция макета позволяет осуществлять измерение характеристик линзы при различных углах облучения с шагом изменения угла в 8° .

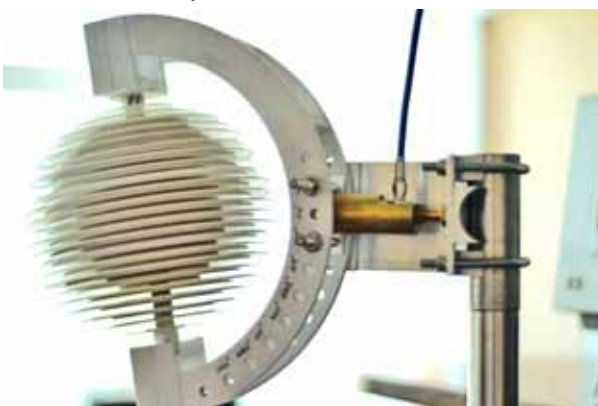


Рис. 3. Фотография макета линзы Лüneберга

Расчетные и экспериментальные ДН в плоскостях E и H приведены на рис. 4 и 5. Плоскости E соответствует вертикальная плоскость (YOZ), плоскости H – горизонтальная плоскость (XOZ) в соответствии с рис. 1.

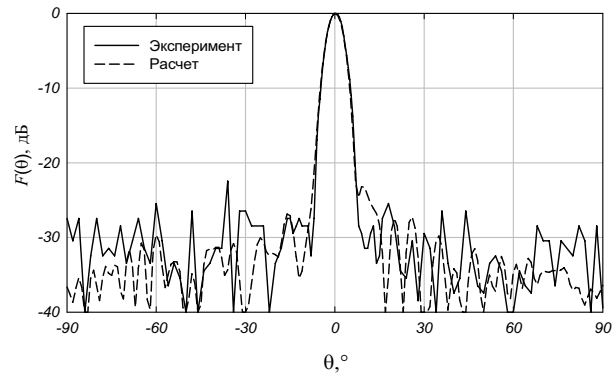


Рис. 4. ДН линзы Лüneберга в плоскости E

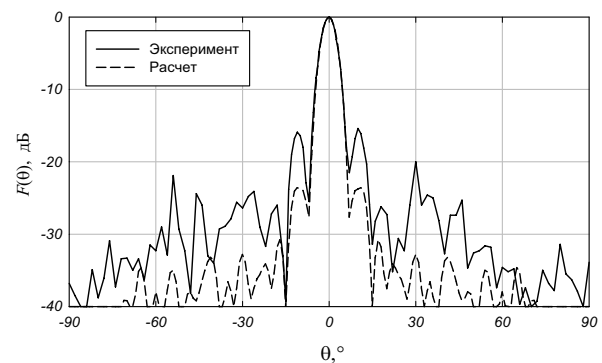


Рис. 5. ДН линзы Лüneберга в плоскости H

Так как особый интерес представляет способность линзы Лüneберга осуществлять сканирование, были рассчитаны и затем измерены ДН для отклонения облучателя в плоскости E . Измерения ДН проводились для случаев облучения линзы под углом от 0 до 24° с шагом в 8° . ДН в плоскостях E и H для случая облучения под углом в 24° приведены на рис. 6 и 7.

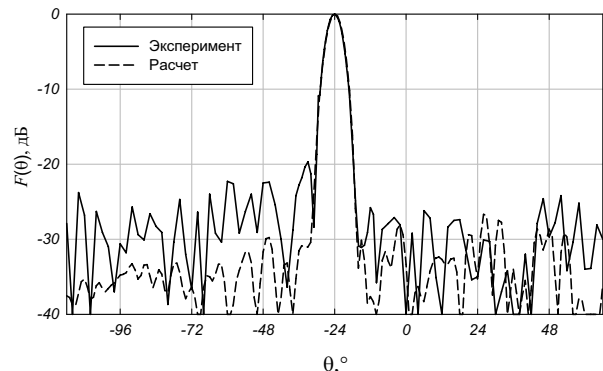


Рис. 6. ДН линзы Лüneберга в плоскости E для случая облучения под углом в 24°

Анализируя ДН антенны, можно заметить, что уровень боковых лепестков (УБЛ) ДН макета в плоскости H выше, чем УБЛ ДН модели, однако он не поднимается выше –16,2 дБ, что во многих случаях является приемлемым. Объяснить данные расхождения можно тем, что в модели не были учтены все конструктивные особенности макета, возникшие в процессе изготовления.

Цилиндрическая линза Микаэляна. Для сокращения продольных размеров излучающей структуры с облучателем и линзой необходимо, чтобы облучатель вплотную примыкал к поверхности линзы. Такая конфигурация реализуется в линзе Микаэляна, представляющей собой фрагмент горизонтально-слоистой неоднородной среды, диэлектрическая проницаемость которой зависит от вертикальной координаты по закону [1]:

$$\varepsilon(y) = \frac{\varepsilon_0}{\operatorname{ch}^2\left(\frac{\pi R}{2L}\right)}, \quad (2)$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость на оси линзы; R – вертикальная (в случае цилиндрической линзы радиальная) координата (расстояние до оси линзы); L – толщина линзы. Распространяясь вдоль такой среды, волна многократно фокусируется на оси с пространственной периодичностью $2L$. При этом в плоскости, перпендикулярной оси и лежащей посередине между фокусами, распределение поля становится синфазным.

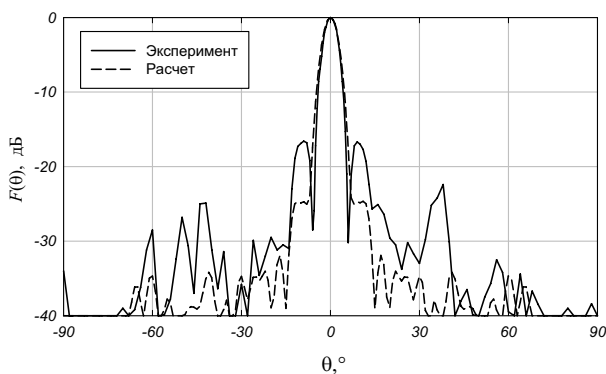


Рис. 7. ДН линзы Лüneберга в плоскости H для случая облучения под углом в 24°

Был осуществлен расчет линзы Микаэляна из перфорированного диэлектрика. Значения ε , как следует из (2), лежат между ε_0 и 0. Реализовать среду с $\varepsilon < 1$ невозможно, поэтому $\varepsilon(y)$ следует ограничить по уровню 1. При этом отношение диаметра линзы к ее толщине определяется выражением

$$\frac{d}{L} = \frac{4 \operatorname{arch}(\sqrt{\varepsilon_0})}{\pi}. \quad (3)$$

Создать искусственно неоднородный диэлектрик можно при помощи отверстий переменного диаметра в однородном диэлектрике. При этом возникает технологическое ограничение на размер отверстий: стенки материала между ними должны сохранять предельную минимальную толщину для обеспечения механической прочности. Если принять минимальную толщину стенок равной 1 мм, это приводит к ограничению n по уровню 1,1, что влечет за собой увеличение толщины линзы. Для обеспечения минимальной толщины стенок форма отверстий должна быть шестиугольной (рис. 8).

Зависимость «радиуса» шестиугольного отверстия r (параметр, соответствующий радиусу описанной вокруг шестиугольника окружности) от требуемого значения эффективной диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{\text{эф}}$ может быть найдена при предположении, что $\varepsilon_{\text{эф}}$ определяется

разностью объемов отверстия и элементарной шестиугольной ячейки (см. рис. 8). Для расчета требуется знать обратную зависимость $r(\varepsilon_{\text{эф}})$, которая определяется следующим образом [3]:

$$r(\varepsilon_{\text{эф}}) = r_{\text{я}} \frac{\sqrt{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\text{эф}}}}{\sqrt{\varepsilon_0 - 1}}, \quad (4)$$

где $r_{\text{я}}$ – размер шестиугольной ячейки с отверстием, который является постоянной величиной, много меньшей длины волны (см. рис. 8). Подставляя в (4) вместо $\varepsilon_{\text{эф}}$ значение $\varepsilon(y)$ из (2), получаем зависимость r от R . Следует заметить, что ε_0 равна диэлектрической проницаемости однородного материала, из которого изготавливается линза.

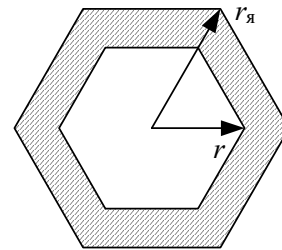


Рис. 8. Гексагональная ячейка с отверстием

Возможно применение отражающей конфигурации линзовой антенны, что позволяет вдвое сократить ее продольные размеры. При этом со стороны, противоположной облучателю, располагается плоский металлический отражатель (рис. 9).

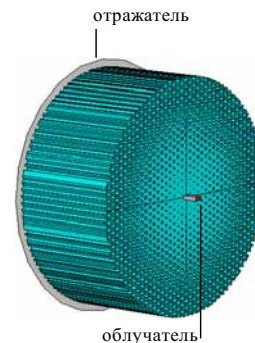


Рис. 9. Трехмерная модель антенной системы с линзой Микаэляна

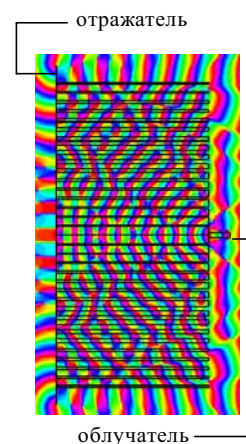


Рис. 10. Диаграмма распределения фазы электрического поля

При моделировании антенной системы были заданы следующие параметры:

- диапазон частот – 12...24 ГГц;
- диаметр линзы – 150 мм (6–12 л);
- толщина линзы – 72 мм;
- «радиус» элементарной ячейки – 2,8 мм;
- ϵ_0 – 2,9 (органическое стекло);
- тип облучателя – открытый конец волновода;
- рабочий диапазон частот облучателя – 12...24 ГГц.

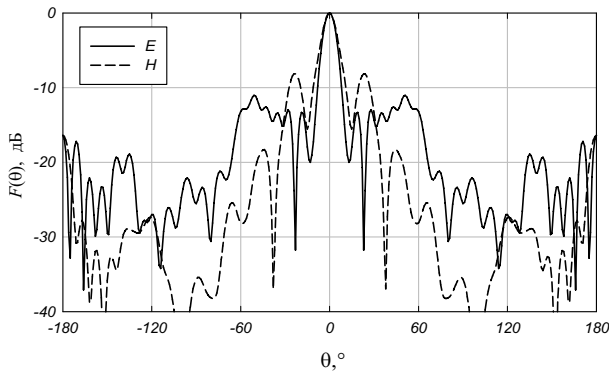


Рис. 11. ДН в плоскостях E и H для 12 ГГц

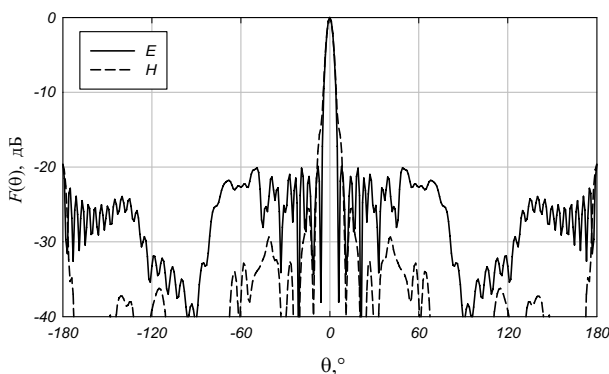


Рис. 12. ДН в плоскостях E и H для 24 ГГц

ДН для крайних частот исследуемого диапазона, а также частотные зависимости коэффициента направленного действия (КНД) и коэффициента использования поверхности (КИП) приведены на рис. 11–13.

Антенная система показывает приемлемый уровень бокового излучения, особенно в области высоких частот.

В области низких частот имеет место излучение мощности с боковой поверхности линзы, что связано с шириной ДН облучателя на низкой частоте. С этим же связано и снижение КИП в области низких частот. Очевидно, что в идеальном случае облучатель должен иметь частотно-независимую ДН и стабильный фазовый центр.

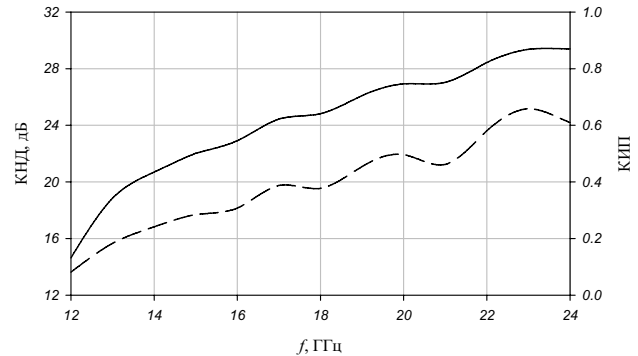


Рис. 13. Зависимость КНД и апертурного КИП от частоты

Таким образом, моделирование и экспериментальное исследование линзовых антенн из искусственно созданного неоднородного диэлектрика показывают возможность их осуществления в СВЧ-диапазоне. Результаты экспериментов подтверждают адекватность используемых предположений и дают удовлетворительные совпадения с расчетами.

Библиографические ссылки

1. Зелкин Е. Г., Петрова Р. А. Линзовые антенны. М. : Советское радио, 1974.
2. Рязанцев Р. О., Сугак М. И., Саломатов Ю. П. Модель сферической линзы Лüneберга, представляющая собой набор цилиндрических слоев переменной толщины из материала с постоянной диэлектрической проницаемостью // Современ. проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. Сиб. федер. ун-та. Красноярск, 2010. С. 141–146.
3. Сферическая линза Лüneберга из искусственного диэлектрика / А. М. Александрин, Р. О. Рязанцев, Ю. П. Саломатов, М. И. Сугак ; Том. гос. ун-т // Изв. вузов. Физика. 2010. № 9/2. С. 70–72.

A. M. Alexandrin, R. O. Ryazantsev, Yu. P. Salomatov

A STUDY OF QUASIOPTICAL STRUCTURES FROM ARTIFICIAL DIELECTRIC IN MICROWAVE BAND

Methods of implementation of inhomogeneous dielectric material were investigated. An inhomogeneous dielectric made from thin layers of variable size and from perforated dielectric plate was calculated. Simulation and measurement data were presented.

Keywords: inhomogeneous dielectric, Luneburg lens, Michaelian lens.

© Александрин А. М., Рязанцев Р. О., Саломатов Ю. П., 2010

С. С. Бежитский, Е. А. Головенко, В. А. Горемыкин, Е. С. Кинев, Д. В. Хохлов

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНДУКЦИОННЫХ УСТАНОВОК СКВОЗНОГО НАГРЕВА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ*

Рассмотрены возможности повышения энергетической эффективности преобразования электрической энергии в тепловую при сквозном нагреве цветных металлов в многослойных соленоидальных индукторах.

Ключевые слова: глобальные методы оптимизации, индукционный нагрев, численное моделирование, технологическая и энергетическая эффективность.

Из теории сквозного индукционного нагрева цилиндрической загрузки в многослойных соленоидальных индукторах известно, что коэффициент полезного действия индукционного нагрева цветных металлов зависит от электрофизических свойств и соотношения параметров длинного индуктора и загрузки [1]:

$$\eta_n = \frac{1}{1 + \frac{d_1}{d_2} \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}}, \quad (1)$$

где d_1, d_2 – диаметры индуктора и загрузки соответственно, м; ρ_1, ρ_2 – удельное электрическое сопротивление материала индуктора и загрузки соответственно, Ом/м.

Отсутствие магнитных свойств и высокая удельная электропроводность определяют предельно высокий коэффициент полезного действия при сквозном нагреве алюминия и меди в пределах 50 %. Но это ограничение характерно только для однослойных соленоидальных индукторов. Потери в многослойной обмотке при выборе оптимального сочетания индуктирующего провода могут быть заметно меньше, чем

в однослойных обмотках. В [2] утверждается, что оптимальной является обмотка из плотно намотанных сплошных проводников прямоугольного сечения толщиной

$$a = \frac{1,32 \cdot \Delta_1}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где Δ_1 – глубина проникновения тока в материал проводника ($\Delta_1 \approx 10$ мм), мм; n – число слоев обмотки медного индуктирующего провода.

На основе расчетов В. С. Немков делает вывод, что если не учитывать роста диаметра витков от слоя к слою, то потери в многослойной обмотке длинного индуктора будут примерно в $\sqrt{n}$ раз меньше, чем у оптимальной однослойной обмотки при том же токе, а следовательно, той же мощности в загрузке. Введение переменной и уменьшающейся к внутренним слоям толщины провода (рис. 1, слева) позволяет снизить потери еще на 13 %. В. А. Буканин и В. С. Немков [2] предлагают увеличить ширину витков в многослойной обмотке к внутренним слоям (рис. 1, справа), что также должно привести к энергетической эффективности процесса нагрева.

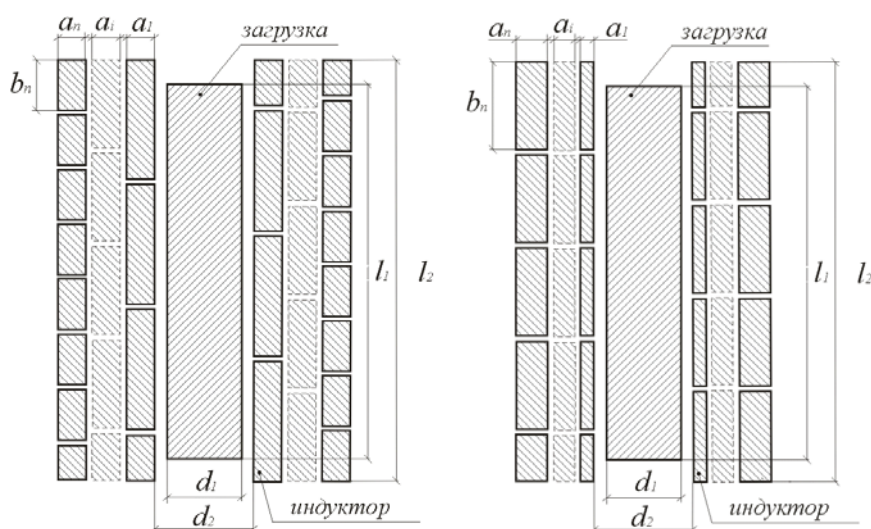


Рис. 1. Многослойная цилиндрическая обмотка с переменной шириной и толщиной проводников по слоям:

l_1, l_2 – длина индуктора и загрузки; d_1, d_2 – диаметр загрузки и внутренний диаметр индуктора;
 $a_1, \dots, a_p, \dots, a_n$ – высота 1-го, ..., i -го, ..., n -го проводника; $b_1, \dots, b_p, \dots, b_n$ – ширина 1-го, ..., i -го, ..., n -го проводника

*Работа выполнена в результате реализации проекта «Создание новой технологии нагрева цветных металлов с повышенными технико-экономическими показателями», реализованного силами ООО «Резонанс» (Красноярск) и ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» при поддержке КГАУ «Красноярский региональный фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (код проекта КФ-28) при активном участии ООО «Красноярский металлургический завод».

Оптимизация конструктивного исполнения многослойной соленоидальной обмотки из плоского провода с внешним охлаждением для нагрева стали была опробована научно-исследовательским центром Британского совета по электричеству (рис. 2). Несмотря на существенный эффект (рис. 3), разработка так и не получила широкого применения в промышленности. Сложность изготовления и эксплуатации такого индуктора нецелесообразна в силу и так довольно высокого КПД при нагреве стали, но эти результаты были бы более приемлемы при нагреве цветных металлов при повышении КПД на 20...40 % по сравнению с существующими установками индукционного нагрева с установленной мощностью более 100 кВт. Результаты опытно-промышленных испытаний представлены на рис. 3.

Существенного улучшения энергетической эффективности можно добиться за счет параметрической оптимизации сечения индуктирующего провода по слоям методами глобальной оптимизации, что и было предпринято авторами.



Рис. 2. Многослойная соленоидальная катушка для нагрева стали

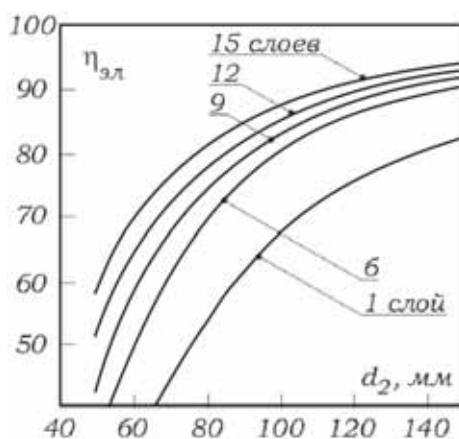


Рис. 3. Графики изменения КПД в зависимости от конструкции нагревателя

Постановка задачи. В качестве объекта исследования в данной работе была выбрана индукционная нагревательная установка периодического действия ИНМ-75. Установка предназначена для нагрева алюминиевых заготовок перед прессованием для получения алюми-

нового профиля и труб. Общий вид индуктора представлен на рис. 4. Схема включения индукционного нагревателя представляет собой вариант питания трехфазной активно-индуктивной нагрузки на ООО «Красноярский металлургический завод».

Секции индуктора ИНМ-75 (I_1 , I_2 , I_3) подключены через вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ) марки ОСУ-100/0,5 в трехфазную сеть 380В по автотрансформаторной схеме. Мощность на индуктор подается включением тиристорного выключателя ВР. Для ступенчатого регулирования напряжения на индукторе первичная обмотка на ВДТ подключается в сеть, а вторичная обмотка соединяется последовательно с резонансным контуром индукционного нагревателя. Таким образом, включая ВДТ согласно или встречно с сетевым напряжением, получают широкий диапазон изменения напряжения на индукторе. Автотрансформаторная схема включения предполагает, что напряжение питающей сети прикладывается на часть витков индуктора (для трех секций индуктора на рис. 5: I_1 , I_2 , I_3 – обмотки трех фаз индуктора), а компенсирующую батарею конденсаторов БК (для трех секций индуктора на рис. 5: $БК_1$, $БК_2$, $БК_3$ – батареи конденсаторов трех фаз индуктора) подключают к крайним выводам индуктора, т. е. на полное число витков. За счет автотрансформаторного эффекта напряжение на индукторе и на конденсаторной батарее будет больше, чем напряжение источника питания. Использование ВДТ и автотрансформаторной схемы позволит увеличить напряжение на индукторе, что в конечном счете при согласовании индуктора с сетевым напряжением дает возможность значительно увеличить количество витков многослойной обмотки и приблизиться к оптимальному варианту исполнения обмотки.

Основным недостатком индукционного нагревателя для нагрева алюминиевых заготовок является низкая энергетическая эффективность. Коэффициент полезного действия индукторов ИНМ не превышает 30 %. Поэтому авторами предложено на основании рекомендаций В. С. Немкова использовать обмотку из плотно намотанных сплошных проводников прямоугольного сечения переменного сечения по слоям. Однако проектирование такого индуктора требует использования методов параметрической оптимизации обмотки индуктора.



Рис. 4. Общий вид трехфазного индукционного нагревателя ИНМ-75

Для решения задач оптимизации индуктора ИНМ-75 в первую очередь необходимо определиться с критерием оптимальности, являющимся функцией от параметров оптимизации. В качестве параметров оптимизации принимались следующие геометрические и энергетические параметры индукционного нагревателя: количество слоев обмотки $N_{\text{сл}}$, количество витков в слое $w_{\text{сл}}$, высота $h_{\text{п}}$ и ширина $l_{\text{п}}$ индуктирующего провода возможно переменного по слоям, частота f питающего напряжения U . Для этих параметров необходимо записать математическое выражение, являющееся целевой функцией.

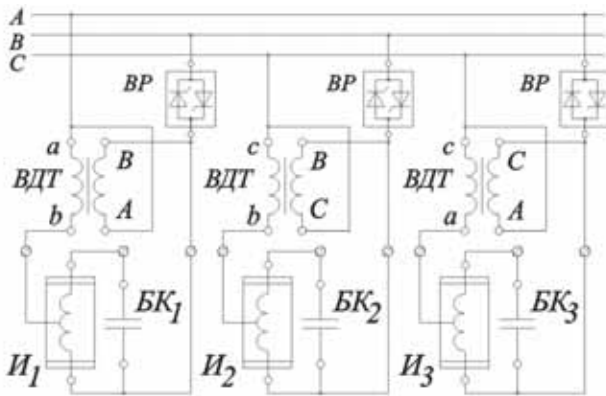


Рис. 5. Электрическая схема замещения трехфазного индукционного нагревателя ИНМ-75 с ДВТ

Эффективность процесса нагрева алюминиевой заготовки в индукционном нагревателе можно оценить по коэффициенту полезного действия установки. Но зачастую помимо высокого КПД необходимо, чтобы выполнялось условие согласования параметров нагрузки $U_{\text{н}}$ с параметрами источника питания по напряжению, а также условие ограничения допустимой плотности тока в индуктирующем проводе (трубке) индуктора. Универсального подхода к решению такой мультикритериальной задачи не существует, так как ни один алгоритм оптимизации не может оптимизировать одновременно несколько целевых функций. Тем не менее высоких результатов при оптимизации можно достичь, используя многокомпонентную целевую функцию следующего вида:

$$F_{\text{ц}}(x) = k_1 \left\{ \frac{1 - \eta_{\text{ц}}}{1} \right\} + k_2 \left\{ \frac{|U_{\text{н}} - U_{\text{н}}|}{U_{\text{н}}} \right\} + k_3 \left\{ \frac{\delta - \delta_{\text{н}}}{\delta} \right\} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где k_1, k_2, k_3 – весовые коэффициенты для каждого из критериев оптимизации; $U_{\text{н}}$ – целевое значение напряжения, В; $U_{\text{н}}$ – текущее значение напряжения, В; δ – целевое значение плотности тока в проводе индуктора, А/мм²; $\delta_{\text{н}}$ – текущее значение плотности тока в проводе индуктора, А/мм²; $\eta_{\text{ц}}$ – текущее значение КПД.

Значения весовых коэффициентов выбираются с учетом условий, а также степени значимости отдельной составляющей критерия оптимизации. Сумма весовых коэффициентов всегда должна быть равна 1. Если не учитывается какая-либо составляющая целевой функции, значение весового коэффициента при ней равняется нулю.

Это используется, например, для частного случая, когда пренебрегаем ограничением по плотности тока в индуктирующем проводе или напряжением питания индуктора.

Для определения численного значения целевой функции необходимо производить расчет электромагнитного поля (ЭМП) в системе «индуктор–загрузка» [3].

Решая систему уравнений Максвелла относительно векторного магнитного потенциала $\vec{A}$, получаем уравнение для расчета характеристик ЭМП:

$$\Delta \vec{A} - \mu_0 \mu_r \gamma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = 0, \quad (4)$$

где γ – удельная электрическая проводимость, См/м; μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м; μ_r – относительная магнитная проницаемость (для алюминия $\mu_r = 1$); $\vec{A}$ – векторный магнитный потенциал.

При численном математическом моделировании осесимметричных индукторов достаточно полную картину физических процессов в различных зонах системы «индуктор–загрузка» может дать двухмерная математическая модель. Путем двухмерного анализа получают корректные и надежные данные, на основе которых в дальнейшем формируются рекомендации для оптимального проектирования устройств индукционного нагрева [4].

Расчетная область системы «индуктор–загрузка» приведена на рис. 6. В расчетную область входят: катушки индуктора (область 1), алюминиевая загрузка (область 2), магнитопровод (область 3). Вокруг них находится ограниченное воздушное пространство (область 4).

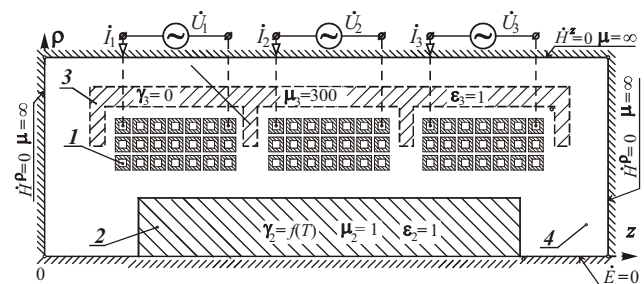


Рис. 6. Расчетная модель для анализа ЭМП в системе «индуктор–загрузка»

При построении расчетной модели приняты следующие допущения.

1. Индукционная система считается осесимметричным относительно оси z .
2. Магнитная проницаемость магнитопровода считается постоянной во всех направлениях: $\mu = 300$ (кривая намагничивания не задается).

Чтобы электромагнитное поле в расчетной области определялось однозначно, дополним уравнение (4) граничными условиями. Считаем, что расчетную область окружает среда с идеальными магнитными свойствами ($\mu = \infty$), тогда на поверхности, ограничивающей расчетную область, будут выполняться следующие условия:

– для касательной составляющей векторного магнитного потенциала

$$\frac{\partial \vec{A}_\tau}{\partial n} = 0; \quad (5)$$

– для нормальной составляющей векторного магнитного потенциала

$$\bar{A}_n = 0, \quad (6)$$

где n – нормаль поверхности расчетной области.

Данными для расчета ЭМП являются геометрические размеры индукционной системы, электрофизические свойства материалов, а также параметры питания обмоток индуктора.

Решение системы уравнений (4)–(6) в расчетной области производится методом конечных элементов в коммерческом программном пакете ANSYS Emag (академическая лицензия СФУ № 00144095). В результате численного моделирования ЭМП рассчитываются основные интегральные и дифференциальные параметры системы «индуктор–загрузка» [4], на основе которых высчитывается значение целевой функции (3).

Для нахождения глобальных минимумов целевых функций, подобных (3), уже давно хорошо зарекомендовали себя стохастические оптимизационные алгоритмы [3]. Ярким примером таких алгоритмов оптимизации является генетический алгоритм (ГА). Как показывает практика применения ГА, высокая размерность задач, нелинейность и многоэкстремальность не создает для него дополнительных трудностей.

В данной работе использовался стандартный ГА совместно с алгоритмом локального поиска. Выбранные алгоритмы и подход к оптимизации были реализованы с использованием разработанной программной системы на языке высокого уровня C++ Builder 6.0.

Задача оптимизации индуктора ИНМ-75 была разделена на две.

В первом случае подбирались оптимальные значения высоты или ширины индуктирующего провода в каждом слое обмотки, при соответственно оптимальной ширине или высоте всех витков и оптимальной частоте питания. В результате были сформированы два вектора оптимизации. Первый вектор $X_1 = (h_{n1} \dots h_{nk}, l_{n1}, f)$ – высота индуктирующего проводника в каждом k -м слое ($k = 1 \dots N_{\text{сл}}$), длина проводника во всех слоях и частота питающего напряжения. Второй вектор $X_2 = (l_{n1} \dots l_{nk}, h_{n1}, f)$ – длина индуктирующего проводника в каждом k -м слое, высота проводника во всех слоях и частота питающего напряжения.

Во втором случае проводилось исследование совместного влияния высоты и ширины индуктирующего провода на электрические потери в обмотке, при этом оптимальные значения высоты и ширины подбирались одновременно для каждого слоя. Вектора оптимизации имеют следующий вид: $X_3 = (h_{n1} \dots h_{nk}, l_{n1} \dots l_{nk}, f)$ – высота и ширина индуктирующего проводника в каждом k -м слое ($k = 1 \dots N_{\text{сл}}$), частота питающего напряжения.

Для каждого вектора оптимизации диапазон изменения длины находился в пределах от 10 до 100 мм, диапазон изменения высоты – в пределах от 2 до 10 мм, диапазон изменения частоты – в пределах от 50 до 1 000 Гц. Оптимальным решением задачи является вектор оптимизируемых параметров, обеспечивающий минимальное значение целевой функции.

Основные результаты. В результате проведения параметрической оптимизации индуктора по целевой функции получены различные данные. Например, при использовании в основе целевой функции только первого слагаемого (3) получен наибольший КПД, равный 0,71,

но при этом неприемлемо высокое значение напряжения на индукторе – около 4 000 В. Если оптимизационную процедуру проводить, учитывая все составляющие целевой функции, то можно получить конструктивные параметры обмотки, обеспечивающие согласование по напряжению с источником питания, достаточно высокий КПД, равный 0,596, и высокую эксплуатационную надежность, обусловленную ограничением плотности тока в индуктирующем проводе на уровне 8 А/мм² и возможно принудительное воздушное охлаждение. Однако оптимальным признан вариант, полученный при использовании только первых двух составляющих, по которому и проводился оптимизационный поиск для установки с водяным охлаждением при питании от серийного тиристорного преобразователя частоты, при этом диапазон изменения частоты задавался в пределах от 50 до 1 000 Гц, целевое значение напряжения принято равным 750 и 380 В.

Результаты оптимизационного поиска конструктивных параметров обмотки индукционного нагревателя по векторам $X_1 = (h_{n1} \dots h_{nk}, l_{n1}, f)$, $X_2 = (l_{n1} \dots l_{nk}, h_{n1}, f)$ и $X_3 = (h_{n1} \dots h_{nk}, l_{n1} \dots l_{nk}, f)$ с ограничением напряжения на уровне 380 В, представлены в табл. 1, 2 и 3 соответственно.

Проведенные расчеты не подтвердили теоретических предположений о том, что можно снизить электрические потери в обмотке индуктора, подобрав индуктирующий провод с оптимальной шириной, уменьшающейся к внешним слоям. Как раз наоборот, увеличение ширины проводника обмотки в каждом слое от центра катушки к периферии позволяет добиться лучших результатов в повышении энергетической эффективности индуктора. Тем не менее максимальный эффект получен при оптимальном выборе толщины индуктирующего проводника в каждом слое и ширины проводника, одинаковой для всех слоев.

С целью определения эффективности предложенной методики оптимального проектирования конструкции УИН было проведено ее сравнение с методикой проектирования многослойных обмоток, рекомендующей осуществлять выбор толщины проводника во всех слоях. В результате получены графики зависимости толщины проводника в слоях индуктора от числа слоев обмотки и частоты тока (рис. 7), после чего проведены расчеты энергетических характеристик индуктора по параметрам табл. 1, с той лишь разницей, что в каждом слое толщина проводника задавалась в соответствии с существующей методикой расчета УИН. В результате были получены различные КПД индуктора при изменении числа слоев обмотки. Рассмотрим зависимости КПД индуктора от количества слоев обмотки, полученные при использовании методики оптимального проектирования (кривая 1) и при использовании существующей методики (кривая 2) (рис. 8). Сравнение этих кривых показывает, что существующая методика позволяет получать конструкции, обеспечивающие довольно высокий КПД, но все же на 8...10 % ниже (кривая 3), чем при использовании представленных методов оптимального проектирования конструкции УИН. Так, КПД наилучшего варианта исполнения индуктора, полученного по методике оптимального проектирования, достигает значения 64,1 %, а КПД подобного индуктора, сечение проводников которого выбрано на основе выражения (2), составляет 55,1 %.

Таким образом, применение методов параметрической оптимизации позволило повысить энергетический КПД с 44,1 до 64,1 %. Сравнение эффективности оптимальной конструкции индуктора (64,1 %) с эффективностью индуктора, спроектированного в соответствии с рекомендациями по выбору высоты шины многослойных обмоток (55,1 %), доказывает преимущество методики оптимального проектирования. Определено, что увеличение ширины проводника обмотки в каждом слое от

центра катушки к периферии позволяет добиться лучших результатов в повышении энергетической эффективности индуктора.

Библиографические ссылки

1. Установки индукционного нагрева / А. Е. Слухоцкий, В. С. Немков, Н. А. Павлов, А. В. Бамунер. Л. : Энергоиздат, 1981.

Таблица 1

Результаты оптимизационного поиска по вектору X_1

Количество слоев, $N_{сл}$		Оптимизируемые параметры														$\eta_{эл}, \%$	$U_{н}, В$
Диапазон	2...12	$f, Гц$	$l_n, мм$	$h_{n1}, мм$	$h_{n2}, мм$	$h_{n3}, мм$	$h_{n4}, мм$	$h_{n5}, мм$	$h_{n6}, мм$	$h_{n7}, мм$	$h_{n8}, мм$	$h_{n9}, мм$	$h_{n10}, мм$	$h_{n11}, мм$	$h_{n12}, мм$		
		50...500	10...100	2...10													
2		303	19	3,1	7,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53,9	380
3		263	28,5	2,5	3	8,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56,8	380
4		200	38	3,21	3,72	4,39	5,43	—	—	—	—	—	—	—	—	57,5	380
5		360	72,6	2,2	2,56	3,04	5,15	5,82	—	—	—	—	—	—	—	58,8	380
6		235	72	2,2	2,45	2,65	4,4	5,4	7,3	—	—	—	—	—	—	60,4	380
7		171	67,6	2,05	2,06	2,1	2,95	3,5	4,15	5,86	—	—	—	—	—	62,3	380
8		149	88,5	2,2	2,3	2,46	2,5	2,62	3,33	4,66	9,84	—	—	—	—	64,1	380
9		106	84	2,22	2,28	2,6	2,81	2,81	4,11	4,78	4,98	5,97	—	—	—	58,5	380
10		81	89,2	2,4	2,55	2,82	2,9	3,23	3,27	3,3	4,13	6,54	7,37	—	—	49,5	380
11		71	96,8	2,1	2,1	2,35	2,51	2,8	3,03	3,1	3,33	3,8	4,1	5,16	—	48,6	380
12		57	99	2,27	2,89	2,93	3,04	3,21	3,31	3,8	3,94	4,06	4,08	4,34	6,96	42,5	462

Таблица 2

Результаты оптимизационного поиска по вектору X_2

$N_{сл}$		Оптимизируемые параметры														$\eta_{эл}, \%$	$U_{н}, В$
Диапазон	2...12	$f, Гц$	$h_n, мм$	$l_{n1}, мм$	$l_{n2}, мм$	$l_{n3}, мм$	$l_{n4}, мм$	$l_{n5}, мм$	$l_{n6}, мм$	$l_{n7}, мм$	$l_{n8}, мм$	$l_{n9}, мм$	$l_{n10}, мм$	$l_{n11}, мм$	$l_{n12}, мм$		
		50...500	2...10	10...100													
2		376	3,5	17	31,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56	380
3		338	3,48	20,4	61,6	36,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56,8	380
4		340	2,51	61,4	36,9	41,9	64,9	—	—	—	—	—	—	—	—	58,8	380
5		232	2,86	29,5	61,4	53,1	58,1	60,8	—	—	—	—	—	—	—	61,8	380
6		245	2,34	59	47	94,3	65,4	88	55,4	—	—	—	—	—	—	60,8	380
7		154	2,53	34,6	59,4	67,8	59,8	55,1	63,4	93,5	—	—	—	—	—	60,6	380
8		167	2,26	46,9	72,3	66,9	72,6	93,3	83,2	74,7	97,1	—	—	—	—	62,4	380
9		111	2,24	89	47	70,6	87,2	83,7	97,5	72,4	74,7	80,9	—	—	—	57,1	380
10		95	2,27	61,1	61,5	60,8	74,2	89,6	93,3	93,3	89,9	96,4	73,1	—	—	53,6	380
11		90	2,25	88,5	88,8	60,6	72,7	94,3	87,3	95,6	73	77,7	72,9	98,5	—	52,5	450
12		76	2,62	61,2	88,8	85,5	85,9	69,9	91	75,2	90,1	90,7	97,8	90	89,8	49,8	473

2. Многослойная цилиндрическая обмотка для индукционных нагревательных устройств : а. с. 690659 СССР, МКИ² H05B5/18, C21D11/2 / В. А. Буканин, В. С. Немков (СССР). № 2429411/24-07 ; заявл. 10.12.76 ; опубл. 05.10.79, Бюл. № 37.

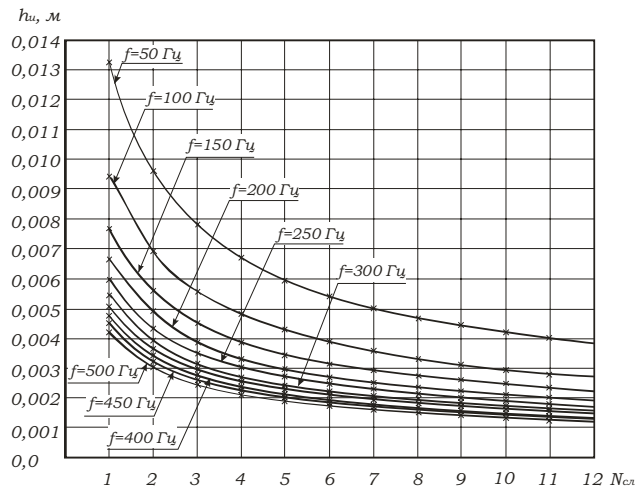


Рис. 7. Зависимость толщины проводника в слоях индуктора от числа слоев обмотки и частоты тока

3. Батищев Д. И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач : учеб. пособие / под ред. Я. Е. Львовича. Воронеж : Изд-во ВГТУ, 1995.

4. Буль О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. М. : Академия, 2006.

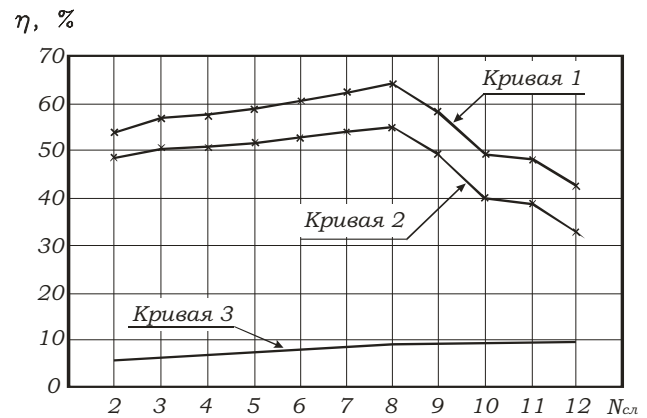


Рис. 8. КПД многослойного индуктора с обмоткой из прямоугольной шины в зависимости от числа слоев

Таблица 3

Результаты оптимизационного поиска по вектору X_3

$N_{\text{сл}}$		Оптимизируемые параметры																$\eta_{\text{эл}}, \%$	$U_{\text{н}}, \text{В}$					
		$f, \text{Гц}$	$l_{n1}, \text{мм}$	$l_{n2}, \text{мм}$	$l_{n3}, \text{мм}$	$l_{n4}, \text{мм}$	$l_{n5}, \text{мм}$	$l_{n6}, \text{мм}$	$l_{n7}, \text{мм}$	$l_{n8}, \text{мм}$	$h_{n1}, \text{мм}$	$h_{n2}, \text{мм}$	$h_{n3}, \text{мм}$	$h_{n4}, \text{мм}$	$h_{n5}, \text{мм}$	$h_{n6}, \text{мм}$	$h_{n7}, \text{мм}$			$h_{n8}, \text{мм}$				
Диапазон	$2 \dots 8$	$50 \dots 500$	$10 \dots 100$								$2 \dots 10$													
			2	340	14,5	36,7	—	—	—	—	—	—	—	4,67	2,55	—	—	—			—	—	53,9	380
			3	352	20,5	45,9	56,8	—	—	—	—	—	3,96	5,2	7,33	—	—	—			—	—	55,3	380
			4	195	17,8	33,9	58,2	57,6	—	—	—	—	4,7	4,5	7,24	3,24	—	—			—	—	55,9	380
			5	184	27,5	37,2	52,1	70,1	80	—	—	—	4,67	5,7	4,61	5,53	3,13	—			—	—	53,3	380
			6	160	27,3	34,2	56,8	63,1	78,5	86,2	—	—	3,11	3,8	3,91	4,45	6,2	4,37			—	—	59,5	380
			7	135	27,5	57,5	53,2	71,5	77,9	86,8	89,3	—	3,96	3,4	3,43	3,7	4,71	6,28			6,92	—	59,4	380
			8	115	34,5	61,4	84,8	56,9	85,9	80,2	85,6	79,6	2,9	3,45	2,26	3,1	2,94	4			8,6	5,83	58,8	380

S. S. Bezhitsky, E. A. Golovenko, V. A. Goremykin, E. S. Kinev, D. V. Khokhlov

INCREASED TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF INDUCTION HEATING INSTALLATIONS THROUGH-FERROUS METALS USING PARAMETRIC OPTIMIZATION

The paper discusses the possibility of increasing the energy efficiency of converting electrical energy into heat under the composite heating non-ferrous metals in multilayer solenoidal inductor.

This article was prepared by the project "Creation of the new technology of heating non-ferrous metals with high technical and economic performance", realized by the LLC «Resonance» (Krasnoyarsk) and FSEFHPE «Siberian Federal University», with support KSAM «Krasnoyarsk regional fund to support research and scientific and technical activity» with the active participation of the company «Krasnoyarsk Metallurgical Plant».

Н. В. Волков, С. А. Трофимов, В. С. Цикалов, Е. В. Еремин, О. А. Масленников

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭПР-МАГНИТОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ: НОВЫЕ РЕШЕНИЯ*

Разработана конструкция компактного высокочувствительного магнитометра для измерения геомагнитного поля Земли и его вариаций. В магнитометре применены новые технические решения, улучшающие его характеристики по сравнению с приборами предыдущего поколения. Приведено описание конструкции магнитометра, основных электронных блоков прибора, программного обеспечения. Приводятся результаты испытаний опытного экземпляра прибора, его основные характеристики.

Ключевые слова: ЭПР-магнитометр, измерение слабых магнитных полей.

Магнитометрическая аппаратура, предназначенная для измерения слабых магнитных полей с точностью до единиц нанотесла (нТл) и выше, имеет очень широкий круг применений в различных областях науки и техники [1]. Первоначально измерители слабых магнитных полей предназначались для исследования магнитного поля Земли в интересах науки о земном магнетизме и изучения геологических особенностей земной коры. Первые исследования сделали очевидным тот факт, что измерители слабых магнитных полей могут оказаться полезными для геологических целей поиска минеральных ресурсов. И действительно, магнитометрическая аппаратура в сочетании со специально разработанными методиками широко используется в геологоразведке для целей поиска полезных ископаемых как на земле, так и на море. Однако этим не ограничивается применение измерителей слабых магнитных полей. Перечислим еще некоторые области, где магнитометрическая аппаратура уже интенсивно и успешно применяется или имеет благоприятные перспективы практического применения. Весьма актуальными являются работы, связанные с возможностью прогнозировать землетрясения по характерному поведению магнитного поля Земли. Успешно разрабатывались и изготавливались трехкомпонентные магнитометры для систем стабилизации и ориентации космических аппаратов. Велись и ведутся работы по военной геофизике, связанные с обнаружением ядерных взрывов в любой точке земного шара, измерениями магнитных полей в Мировом океане в целях картосоставления, в интересах автономной навигации подводных лодок в подводном положении, поиска на дне морей затонувших кораблей и других объектов военной техники, обеспечения использования оружия и других технических средств. Есть интерес к возможности использования высокочувствительных магнитометров в качестве антенн для связи на сверхдлинных волнах.

Таким образом, создание и применение магнитометрической аппаратуры для исследования слабых магнитных полей является весьма актуальной задачей. В данной работе описана конструкция трехкомпонентного магнитометра слабых магнитных полей, работающего на принципах электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Внимание уделено главным образом обсуждению новых

решений, примененных при разработке магнитометра, которые позволили существенно улучшить основные характеристики прибора. Конечно, нужно отметить, что магнитометры, работающие на принципах ЭПР, создавались и ранее, но многие проблемы оказывались тогда не решенными до конца. Среди них назовем проблему температурной нестабильности; проблему невысокой чувствительности, определяемой выбором рабочего вещества датчика; проблему несовершенства элементной базы, не позволявшей реализовать необходимые схемные решения; проблему отсутствия компактного блока сбора, обработки и индикации результатов измерений. Цель данной работы – попытаться решить по крайней мере часть этих проблем и создать магнитометр с приемлемыми характеристиками, простой в обращении и с невысокой стоимостью.

Принцип работы и основные элементы ЭПР-магнитометра. Электронный парамагнитный резонанс – переход электронов под действием электромагнитного излучения между электронными зеемановскими подуровнями, расщепленными во внешнем магнитном поле. Энергия радиочастотного поля поглощается электроном, и происходит перераспределение населенностей уровней в сторону их выравнивания. Резонансная частота (Гц) для свободного электрона

$$\omega = g\mu_B H / \hbar = 2,8 \cdot 10^6 \cdot H,$$

где g – фактор спектроскопического расщепления; μ_B – магнетон Бора; $\hbar$ – постоянная Планка. ЭПР наблюдается в веществах, содержащих неспаренные электроны. Поглощение энергии при резонансе можно обнаружить с помощью соответствующих индикаторов. Поглощение, как функция медленно меняющегося поля H , представляет собой резонансную кривую с максимумом при $\omega = \omega_0$. Ширина линии ЭПР обусловлена внутренними взаимодействиями и является важной характеристикой вещества. Хорошо известно, что условия, в которых наблюдение электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) наиболее благоприятно – магнитное поле $H \sim 3$ кЭ и частота электромагнитного излучения $\omega/2\pi \sim 9$ ГГц. При уменьшении внешнего магнитного поля уменьшается расщепление зеемановских уровней энергии электрона

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (доп. соглашение № 01/10 от 01 июня 2010 г.).

и снижается отношение их заселенностей. Это ведет к снижению уровня сигнала ЭПР. В полях, близких к земному полю, условия для наблюдения резонанса ухудшаются в этом отношении примерно на три порядка. Это требует значительного увеличения чувствительности аппаратуры, увеличения объема образца или концентрации парамагнитных центров в образце.

Детальный анализ возможных подходов к построению ЭПР-магнитометров показывает, что наиболее предпочтительным вариантом решения задачи является использование компенсационного метода измерения, суть которого заключается в следующем. Линия поглощения магнитного резонанса есть четная функция поля, т. е. знак кривой поглощения не меняется при изменении знака магнитного поля. Если образец, дающий сигналы ЭПР, поместить в переменное (например, синусоидальное) магнитное поле, то в отсутствие постоянной составляющей сигналы ЭПР, получаемые на выходе датчика (автодинного детектора), будут содержать только четные гармоники основной частоты модуляции переменного поля, а составляющих частоты в спектре сигнала не будет. В присутствии слабого постоянного внешнего поля, например, поля Земли, симметрия кривой поглощения нарушается и сигнал будет содержать составляющую частоты (первую гармонику). При использовании фазового (синхронного) детектирования на частоте $f_{\text{мод}}$ на выходе синхронного детектора появляется напряжение, пропорциональное напряженности внешнего магнитного поля, а его знак определяется знаком (относительно нулевого) внешнего магнитного поля. Это напряжение после соответствующего усиления подается на ту же катушку, которая создает переменное магнитное поле в месте расположения образца. Знак поля, получаемого за счет напряжения на выходе синхронного детектора, противоположен знаку внешнего слабого магнитного поля. Таким образом, с помощью такой обратной связи постоянная (или медленно меняющаяся) составляющая магнитного поля в районе образца сводится к нулю. Компенсирующий ток $I_{\text{комп}}$, текущий через катушку, с большой степенью точности пропорционален напряженности внешнего магнитного поля.

Функциональная схема магнитометра (рис. 1) выполнена по традиционной для радиоспектроскопии модуляционной схеме. В ее состав входит генератор слабых колебаний, выполненный по схеме Гопкинса. Частота генератора выбиралась исходя из параметров рабочего вещества, и составляет 8,4 МГц. Радиочастотная катушка генератора $L1$ с рабочим веществом размещена внутри цилиндра, образованного катушкой $L2$, с помощью которой поле на образце модулируется звуковой частотой $f_{\text{мод}}$ порядка 1 кГц. При возникновении резонанса часть энергии контура поглощается веществом и на выходе генератора возникает амплитудная модуляция ВЧ несущей.

С выхода генератора модулированное напряжение поступает на амплитудный детектор, где происходит выделение огибающей, в амплитуде и фазе которой заключена информация о полезном сигнале. Этот сигнал, имеющий частоту, кратную частоте модуляции, усиливается предварительным усилителем, а затем, для улучшения отношения сигнал/шум, селективным усилителем, настроенным на первую гармонику сигнала ЭПР. Одновременно в этом усилителе происходит и подавление второй гармоники, поскольку она не несет полезной информации.

Выделенная первая гармоника сигнала ЭПР поступает на синхронный детектор, на выходе которого формируется первая производная сигнала ЭПР. Форма этой производной подобна дискриминационной характеристике, формируемой в цепях фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и, для следящей обратной связи, является напряжением ошибки или рассогласования. Это напряжение усиливается усилителем постоянного тока и поступает на регулятор, который в простейшем случае может быть интегратором. Назначение регулятора в замкнутой петле обратной связи – обеспечить нулевую (или очень близкую к нулю) ошибку рассогласования во всем динамическом диапазоне измеряемых полей и, кроме того, большой запас фазовой устойчивости и большую скорость отслеживания.

С выхода регулятора напряжение поступает в суммирующий усилитель, выход которого соединен с компенсирующей цилиндрической катушкой $L2$. Током, протекающим в этой катушке, создается постоянное магнит-

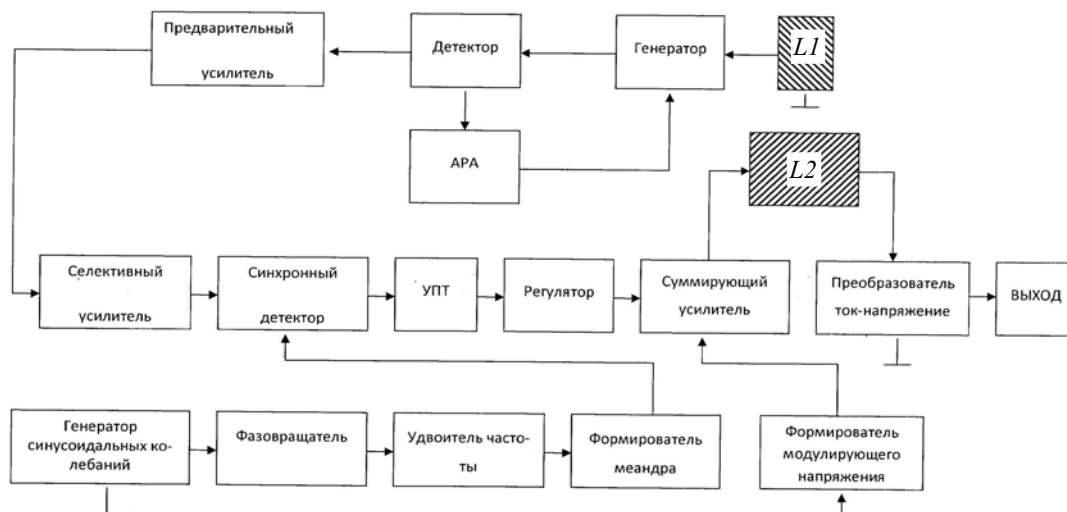


Рис. 1. Функциональная схема однокомпонентного магнитометра

ное поле, равное по величине и обратное по направлению той части измеряемого магнитного поля, которая совпадает с осью катушки. Измеряя ток, протекающий через катушку L_2 , можно определить модуль измеряемой компоненты поля и ее знак (направление).

Более удобно измерять не ток, а напряжение. Поэтому ток, протекающий через катушку L_2 , преобразуется в напряжение с помощью преобразователя ток-напряжение. Напряжение с выхода преобразователя, прокалиброванное в единицах поля, например нТл, можно регистрировать, переведя в цифровой код с помощью компьютера.

Формирование управляющего напряжения для синхронного детектора осуществляется в формирователе опорных напряжений, в состав которого входит задающий генератор синусоидального напряжения, стабилизированный по амплитуде; фазовращатель, представляющий из себя всепропускающий фильтр с постоянным временем задержки; удвоитель частоты; формирователь меандра для управления синхронным детектором. С выхода формирователя прямоугольные импульсы с частотой следования 1 кГц и скважностью два поступают на управляющий вход синхронного детектора. Напряжение генератора через усилитель поступает на суммирующий усилитель и в катушке L_2 создается переменное модулирующее поле. Амплитуда модулирующего поля определяется частотой генератора, шириной линии ЭПР и подбирается таким образом, чтобы форма дискриминационной характеристики в центральной области не имела перегибов.

Наличие фазовращателя позволяет довольно точно подобрать фазовые соотношения между первой гармоникой сигнала ЭПР и опорным напряжением синхронного детектора.

Для компенсации температурной неустойчивости автотинного детектора введена схема автоматической регулировки амплитуды (АРА), сигналом управления для которой служит постоянная составляющая с амплитудного детектора, которая пропорциональна уровню ВЧ-несущей. Эффективность схемы такова, что обеспечивает постоянный уровень сигнала ЭПР во всем диапазоне рабочих температур.

Принципиальная электрическая схема однокомпонентного магнитометра приведена на рис. 2.

Для реализации электрической схемы была подобрана современная элементная база. С учетом элементной базы разработана печатная плата, позволяющая сделать электронный блок прибора весьма компактным. Конструктивно электронный блок, предназначенный для работы измерителя одной из компонент поля, вместе с ЭПР-датчиком магнитного поля помещается в цилиндрический корпус со следующими размерами: диаметр – 30 мм, длина – 200 мм.

Трехкомпонентный ЭПР-магнитометр, как и однокомпонентный, также основан на компенсационном методе и позволяет измерять три взаимно ортогональных компоненты геомагнитного поля. По сути, трехкомпонентный магнитометр состоит из трех взаимно ортогональных однокомпонентных магнитометров, независимых друг от друга и измеряющих каждый свою компоненту. Полученные данные от каждого из трех однокомпонентных блоков преобразуются в цифровой формат и поступают в компьютер, где данные обрабатываются и размещаются на карте памяти. Полная блок-схема магнитометра показана на рис. 3. Три датчика с электронными блоками (Δx , Δy и Δz) для независимого измерения трех про-

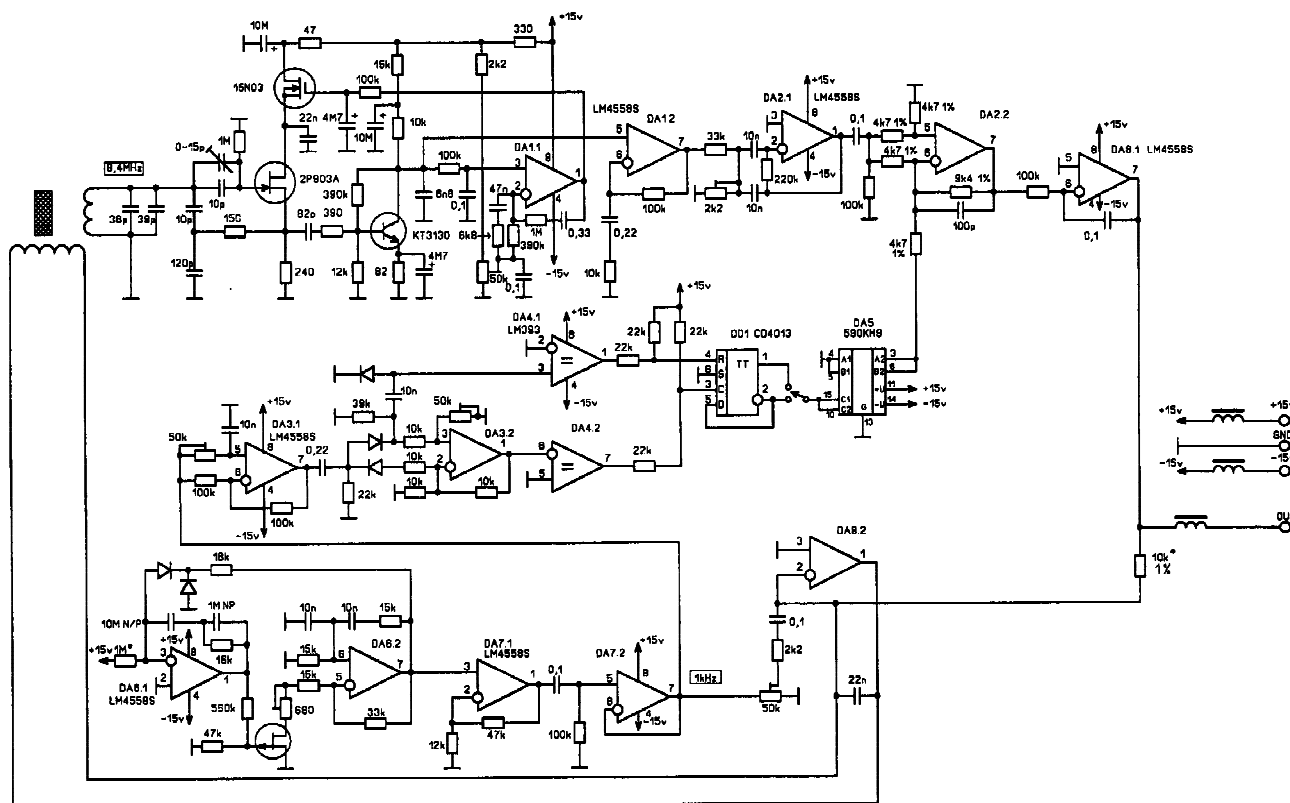


Рис. 2. Принципиальная схема однокомпонентного магнитометра

пространственных координат (X, Y, Z) магнитного поля соединены с модулем сбора данных (АЦП–ЦАП) и управления электронными блоками. Этот модуль также соединяется с персональным компьютером (PC), куда поступают данные от датчиков магнитного поля для обработки и хранения. Компьютер также обеспечивает необходимое управление электронными блоками и наглядное представление результатов измерений. К компьютеру дополнительно присоединяется специализированная плата GPS приемника, это сделано для привязки измерений геомагнитного поля по времени и координате нахождения магнитометра. Все питание магнитометра осуществляется от аккумуляторной батареи 12 В (БП).

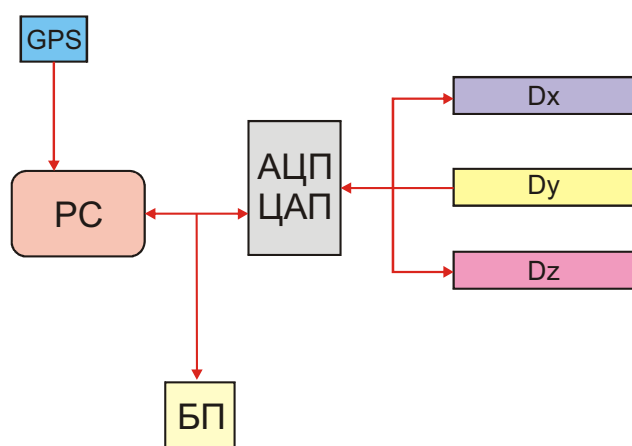


Рис. 3. Блок-схема трехкомпонентного магнитометра

Рабочее вещество магнитометра: выбор, технология получения, основные свойства. Достижимая в ЭПР-магнитометрах чувствительность зависит от многих параметров, но решающую роль здесь играет выбор рабочего вещества датчика магнитометра. Прежде всего рабочее вещество должно иметь максимально узкую линию ЭПР-поглощения. Кроме того, необходима временная и температурная стабильность параметров материала. Эти требования являются нетривиальными, но именно они определяют одну из основных характеристик датчика – его чувствительность, а, следовательно, и чувствительность всего магнитометра.

До настоящего времени наиболее распространенными материалами для использования в качестве рабочего вещества датчика являлись органические вещества, в которых сигнал ЭПР обеспечивался радикалами. Хорошо известное вещество – диметилпикрилгидрозил (ДФПГ), с шириной линии магнитного резонанса $\Delta H \sim 1$ Гс ($\nu \sim 9$ ГГц). N-карбазилпикрилизота имеет еще меньшую ширину линии магнитного резонанса: ΔH этого материала находится в пределах $\sim 0,5$ Гс. Были попытки использовать в качестве рабочего вещества катионрадикалы гексафторфосфата флуорантена (Fl_2PF_6), ширина линии которого в порошке может достигать 0,1 Гс. К недостаткам использования радикалов в качестве рабочего вещества следует отнести трудности, связанные с технологией. Ширина линии сильно зависит от чистоты используемых при синтезе исходных веществ. Химическая очистка этих веществ, как и конечного продукта, является достаточно сложной и не решенной до конца задачей. Необходимо

предъявлять особые требования к условиям хранения и эксплуатации радикалов. Так, например, при хранении Fl_2PF_6 на воздухе при комнатной температуре интенсивность линии ЭПР этого вещества уменьшается на порядки. Конечно, такая нестабильность неприемлема для материалов, которые будут использоваться в качестве датчиков высокочувствительного магнитометра.

Рассматривая различные семейства материалов для рабочего вещества датчика, мы остановили свой выбор на материале LiF. Сам монокристалл LiF является диамагнитной матрицей, а сигнал ЭПР связан с микроскопическими включениями металлического Li. Металлические частицы в кристалле можно получить при облучении кристалла высокой дозой нейтронной радиации $10^{19} \dots 10^{20} \text{ н/см}^2$ (с последующим тепловым отжигом и закалкой в жидком азоте) [2]. Обоснуем свой выбор материала для датчика:

- узкая, одиночная, лоренцевской формы линия парамагнитного поглощения с шириной $\Delta H \sim 0,03 \dots 0,09$ Гс, в зависимости от размера частиц металла (0,6...1,0 мкм);
- ширина линии не зависит от температуры;
- g-фактор линии поглощения, который определяет величину резонансного магнитного поля, равен $2,002\,288 \pm 0,000\,004$, и, что принципиально, является изотропным и температурно-независимым;
- поскольку металлический Li является паулиевским парамагнетиком, его магнитная восприимчивость в широком температурном диапазоне, где предполагается использовать магнитометры, не зависит от температуры; это означает, что и интенсивность линии ЭПР не будет изменяться с температурой;

- частицы Li являются высокочистыми, а сама матрица LiF защищает их от влияния внешней среды, что обеспечивает стабильность параметров спектра ЭПР материала.

Получение крупных монокристаллов LiF, однородных по объему, сопряжено с определенными трудностями. Речь здесь идет о возможности возникновения кристаллографических дефектов и центров окраски (типа F-центров) при неоптимальном выборе технологии. Качественные монокристаллы LiF были выращены в ИГХ СО РАН по оригинальной технологии [3] и переданы разработчикам магнитометра. Из полученных объемных монокристаллов изготавливались образцы цилиндрической формы диаметром 8 мм и длиной 10 мм по внутренним размерам каркаса радиочастотной катушки магнитометрического датчика.

Облучение кристаллов с дозой тепловых нейтронов до 10^{20} н/см^2 было проведено в реакторно-исследовательском комплексе УрО РАН, г. Заречный. После облучения образцы подвергались термической обработке при температуре 500 °C и последующей закалке.

Спектры ЭПР полученных материалов (облученных кристаллов LiF) исследовались на спектрометре электронного магнитного резонанса ELEXSYS E580 (Brucker). Рассмотрим результаты сравнительных исследований спектра ДФПГ – материала, который традиционно используется в магнитометрах и в других ЭПР-приложениях как материал с узкой шириной линии поглощения, и образца LiF (рис. 4). Образцы ДФПГ и LiF имели одинаковую массу, измерения проводились при одной и той же величине амплитудной модуляции. Хорошо видно, что линия ДФПГ

намного шире, к тому же имеет тонкую структуру, что негативно может сказываться на чувствительности ЭПР-датчика магнитометра. Линия же LiF является гладкой и симметричной, по интенсивности она не намного уступает линии поглощения ДФПГ. Это многообещающий результат, подтверждающий перспективность использования облученных кристаллов LiF в высокочувствительных магнитометрах. Вместе с тем ширина линии, $\Delta H \sim 0,7$ Гс, оказалась намного больше, чем упоминалось в литературе ($\Delta H \sim 0,03 \dots 0,09$ Гс). Однако здесь следует иметь в виду, что измерения проводились при высоких частотах, а магнитометр работает на более низких частотах, при которых ширина линии ЭПР должна быть меньше. Кроме того, ширина линии ЭПР в большой степени зависит от величины амплитудной модуляции. Действительно, с уменьшением амплитуды модуляции уменьшается ширина линии LiF. Если при амплитуде модуляции в 1 Гс (1 G) ширина линии составляет $\sim 0,7$ Гс, то при амплитуде модуляции 0,1 Гс (0,1 G) ширина линии составляет уже $\sim 0,17$ Гс.

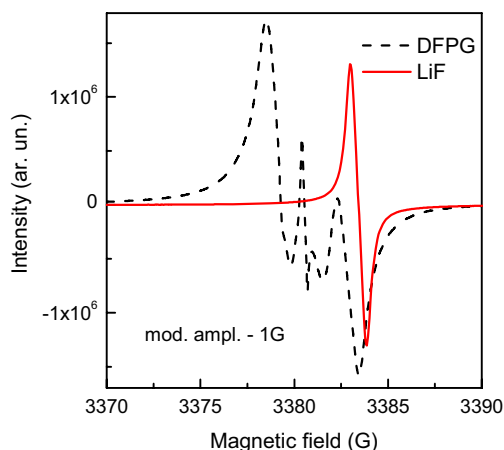


Рис. 4. Спектры ЭПР ДФПГ и облученного LiF

Конечно, на данном этапе мы не смогли достигнуть предельных значений ширины линии, необходима дальнейшая работа по совершенствованию технологии получения монокристаллов LiF и их облучению нейтронами. Вместе с тем полученные параметры линии намного превосходят параметры ДФПГ – материала, который использовался до настоящего времени. Наши исследования показали необходимость тщательного выбора рабочих параметров, при которых работает ЭПР-датчик (частота генератора, величина амплитудной модуляции).

Автоматизация работы магнитометра; разработка программного обеспечения сбора, анализа и представления данных. Для целей автоматизации прибора использовался модуль сбора данных USB-9219. Разрешение модуля – 24 бита. Связь с компьютером осуществляется по шине USB. Минимальный шаг по напряжению – 271 μ V. В устройстве задействованы три входа. Четвертый может быть использован для подключения дополнительных устройств.

Данные измерений магнитного поля в магнитометре синхронизованы по абсолютному времени и координате. Для синхронизации используется GPS-приемник BU-353 с USB-2.0. В одном корпусе совмещен GPS-приемник и активная антенна, GPS Mouse. В основе прием-

ника лежит чипсет SiRFstarIII, обеспечивающий высокое качество и скорость определения координат. Приемник подключается к компьютеру через USB-порт.

В качестве языка программирования при создании программного обеспечения прибора был выбран LabVIEW. National Instruments LabVIEW представляет собой высокоэффективную среду графического программирования, в которой можно создавать гибкие и масштабируемые приложения измерений. Интуитивно понятный процесс графического программирования позволяет уделять больше внимания решению проблем, связанных с измерениями и управлением.

Созданное программное обеспечение делает использование прибора удобным и легким. Оно позволяет управлять прибором, собирать, обрабатывать и анализировать данные в автоматическом режиме и наглядно представлять их с использованием визуального интерфейса программы.

Основные характеристики магнитометра. Изготовленный опытный экземпляр высокочувствительного магнитометра проходил испытания в лабораториях ИФ СО РАН. Ниже приведены характеристики изготовленного прибора, уверенно воспроизводимые при работе в различных условиях.

Основные технические характеристики магнитометра слабых магнитных полей:

- количество одновременно измеряемых компонент поля – три;
- диапазоны измеряемых полей – $0 \dots 10^5$ нТл;
- пороговая чувствительность – не хуже 1 нТл;
- температурный дрейф – не хуже 0,05 нТл/ $^{\circ}$ С;
- диапазон компенсации измеряемой компоненты – $\pm 10^5$ нТл;
- диапазон измерения вариаций в режиме компенсации – не хуже ± 1 нТл;
- быстродействие приборов обеспечивает непрерывные измерения в диапазоне частот $0 \dots 1,5$ Гц;
- диапазон измерения вариаций в режиме компенсации $\pm 10^4$ нТл.

Улучшение характеристик возможно за счет дополнительной программной обработки данных с использованием компьютера. По-видимому, необходимо продолжить и работу по улучшению характеристик рабочего тела магнитометра. Возможно, что определенный потенциал улучшения характеристик заложен в совершенствовании конструкции датчика ЭПР-магнитометра, в выборе оптимальных величин объема рабочего тела, частоты задающего генератора, амплитудной модуляции и т. д.

Таким образом, разработан вариант ЭПР-магнитометра, предназначенного для компонентно-векторных измерений слабых магнитных полей и их вариаций, включая измерения геомагнитного поля. Создан опытный образец магнитометра. Использование новых подходов и решений позволило улучшить характеристики прибора по сравнению с приборами предыдущего поколения, расширить его функциональные возможности. К элементам новизны относится применение современной элементной базы; полная автоматизация процессов работы прибора и сбора данных измерений; использование нового

рабочего вещества в качестве рабочего тела магнитометра; создание программного обеспечения; синхронизация результатов измерений по абсолютному времени и координате. Разработанный вариант магнитометра может найти применение в геологии, геофизике, археологии, научных исследованиях, военных приложениях, космических исследованиях.

Библиографические ссылки

1. Семевский Р. Б., Аверкиев В. В., Яроцкий В. А. Специальная магнитометрия. СПб. : Наука, 2002.
2. Измерение статической магнитной восприимчивости с помощью электронного парамагнитного резонанса / Ф. Г. Черкасов, И. В. Овчинников, А. Н. Туранов и др. // Физика низких температур. 1997. Т. 23(2). С. 236–239.
3. Получение фторида лития для термолюминесцентных детекторов ионизирующего излучения / С. Н. Мироненко, А. И. Непомнящих, Д. Д. Икрами и др. // Известия АН СССР. Сер. Неорганич. материалы. 1985. № 21. С. 504–506.

N. V. Volkov, S. A. Trofimov, V. S. Tsikalov, E. V. Eremin, O. A. Maslennikov

HIGH-SENSITIVE ESR MAGNETOMETER FOR MEASURING OF THE EARTH GEOMAGNETIC FIELD: NOVEL SOLUTIONS

A compact high-sensitive magnetometer was designed for measuring of the Earth geomagnetic field and its variations. Novel technical solution was applied for the magnetometer that improved the device characteristics as compared with the early designed devices. The paper contains description of the magnetometer construction, of the main electronic blocks, of the software. A model of the magnetometer was created and tested. Results of test and main device characteristic are presented in the paper.

Keywords: ESR magnetometer, measurement of weak magnetic field.

© Волков Н. В., Трофимов С. А., Цикалов В. С., Еремин Е. В., Масленников О. А., 2010

УДК 519.858, 519.816

А. В. Гехман, Ю. Ю. Якунин, А. А. Даничев, А. А. Володин

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТИЗ В РЕЕСТРЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК*

Описаны алгоритмы получения результирующего ранжирования научно-технических разработок с использованием математического аппарата бинарных отношений.

Ключевые слова: бинарные отношения, ранжирование, многокритериальная оптимизация.

Для эффективного проведения научных исследований и создания инновационной наукоемкой продукции краевого уровня необходима организационная и технологическая поддержка всех этапов ее жизненного цикла, отсутствие которой сопровождается рядом проблем, связанных с трудностями потенциальных инвесторов при поиске инновационных разработок, трудностями исследователей при поиске потенциальных инвесторов; со сложностью анализа и оценки передовых достижений в области научной и инновационной деятельности; с формированием больших коллективов при решении крупных научных и производственных задач. Описанные проблемы предлагается решить с помощью механизма сбора и обработки научно-инновационной информации в рам-

ках автоматизированной системы управления реестром научно-технических разработок (НТР). При этом должны осуществляться сбор и ранжирование информации в распределенных системах, в том числе с применением Интернета. В качестве ключевых пользователей данной системы выступают исследователи, инвесторы и прочие заинтересованные лица. Все это позволит создать механизм продвижения наукоемкой продукции края на российский и международный рынок, а также позволит развивать наукоемкое производство.

Предлагается решение одной из задач сбора и ранжирования информации: задачи обработки результатов экспертиз в реестре научно-технических разработок для получения итогового рейтинга НТР в соответствии с пред-

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

почтениями экспертов. Решение данной частной задачи позволит получать рейтинги НТР на основе общественного мнения, что предоставит инвесторам и другим заинтересованным лицам дополнительную информацию, используемую при принятии решений.

Алгоритмы обработки экспертной информации непосредственно зависят от метода получения экспертных оценок. Так, для количественных данных существуют разнообразные системы поддержки принятия решений, например, система Expert choice, основанная на методе анализа иерархий (МАИ) Саати [1]. Основная трудность использования этого метода и подобных ему систем состоит в необходимости количественной оценки предпочтений для выбора между объектами [2; 3]. При получении экспертных данных в порядковых шкалах объекты либо непосредственно ранжируются экспертом, либо производятся парные сравнения объектов друг с другом. Такая форма суждений наиболее естественна для человека, однако требует дополнительных разъяснений при проведении экспертизы. В данной работе описывается процедура проведения экспертизы, в которой каждый эксперт может оценивать НТР в баллах по многим критериям. Балльные оценки выбраны как наиболее простая форма выражения мнения эксперта.

Используемые в большинстве случаев подходы нахождения итогового рейтинга объектов на основе оценок по средним баллам имеют ряд недостатков. Во-первых, выполнять арифметические операции с балльными оценками некорректно; во-вторых, игнорируется неравнозначность баллов разных экспертов; в-третьих, не учитывается возможная вариация средних оценок (особенно если эксперт оценивает не все объекты). В данной работе предлагается подход к получению результирующего ранжирования НТР с использованием математического аппарата бинарных отношений [4; 5], который обеспечит переход от балльных оценок к ранжированиям, что позволит устранить указанные недостатки.

Экспертная информация и измерения. При использовании метода экспертных оценок основным источником информации является эксперт (в нашем случае – представитель общественности) – его суждения, качественные и количественные оценки. Характер информации, получаемой от эксперта, различен, а, следовательно, различны и методы ее анализа и обработки.

Одним из основных математических понятий, используемых при анализе и обработке экспертной информации, является отношение. Пусть задано множество альтернатив $A = \{a_1, \dots, a_m\}$. Множество всех пар вида (a_i, a_j) с элементами $a_i \in A$ и $a_j \in A$ образует декартово произведение $A \times A$. Любое подмножество P декартова произведения $A \times A$ называется бинарным отношением на множестве элементов A . Типы отношений определяются свойствами, которыми они обладают.

Информация об отношениях может быть представлена различными способами. Отношение можно задать непосредственно перечислением пар элементов множества A . Более распространен матричный способ представления информации об отношениях. Строки и столбцы матрицы $\|t_{ij}\|$ отношения P соответствуют элементам множества A . Для представления отношений линейного порядка используется матрица $\|t_{ij}\|$ с элементами

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (a_i, a_j) \in P, (a_j, a_i) \notin P \\ & \text{(эксперт предпочитает} \\ & \text{объект } a_i \text{ объекту } a_j), \\ 0, & \text{если } (a_i, a_j) \in P, (a_j, a_i) \in P \\ & \text{(эксперт считает объекты} \\ & a_i \text{ и } a_j \text{ равноценными)}, \\ -1, & \text{если } (a_i, a_j) \notin P, (a_j, a_i) \in P \\ & \text{(эксперт предпочитает} \\ & \text{объект } a_j \text{ объекту } a_i). \end{cases}$$

Ранжирование принято изображать набором объектов в скобках в порядке убывания предпочтительности, используя при необходимости знак « $\equiv$ » для равноценных объектов: $P = (a_1, a_3, a_2 \equiv a_4)$. В алгоритмах поиска результирующего ранжирования используются *вектора рангов* $R = (1, 3, 2, 3)$.

Рассмотрим исходные данные, полученные при экспертизе НТР. Каждый k -й эксперт оценивает объекты (научно-технические разработки) в баллах по L критериям. Проранжировав объекты согласно полученным баллам, получим матрицы отношений T_{kl} . Так как эксперт оценивает не все объекты (например, 5 из 1 000), то многие элементы $t_{ij} = \langle - \rangle$, т. е. не существуют.

Наряду с матрицами отношений в алгоритмах поиска используют суммарные матрицы, которые позволяют избежать многократно повторяющихся расчетов в алгоритмах поиска результирующего ранжирования, что для многих методов на порядок сокращает количество вычислений. В работах некоторых авторов использовалась суммарная матрица отношений $N = \|N_{ij}\|_{m \times m}$, где N_{ij} равно числу случаев, когда объект a_i предпочтительней объекта a_j . Для учета весов ранжирований элемент N_{ij} вычисляется по формуле

$$N_{ij} = \sum_{\substack{k=1, \\ t_{ij}^k \neq 0}}^n w_k.$$

Чем выше компетентность эксперта, тем больше вес $w_k \in [0, 1]$. По умолчанию все веса равны единице.

В матрице N содержится лишь небольшая часть исходной информации, поэтому предлагается ввести еще несколько суммарных матриц. Для ряда методов поиска результирующего ранжирования важна информация о равноценных объектах, для чего вводится матрица

$$N^0 = \|N_{ij}^0\|_{m \times m}, \quad N_{ij}^0 = \sum_{\substack{k=1, \\ t_{ij}^k = 0}}^n w_k.$$

Так же используется матрица $N^- = \|N_{ij}^-\|_{m \times m}$, $N_{ij}^- = (N_{ij} - N_{ji})$, $N_{ji}^- = -N_{ij}^-$.

Для случая исходных данных, представленных неполными парными сравнениями, подчитывается число сравнений объектов

$$N_{ij}^+ = \sum_{\substack{k=1, \\ \exists t_{ij}^k}}^n w_k = N_{ij} + N_{ij}^0 + N_{ji}, \quad N_{ij}^+ = N_{ji}^+$$

и величина $n_w = \sum_{k=1}^n w_k$. Если веса равны единице и в матрицах отношений нет пропусков, то $N_{ij}^+ = n$, $i, j = \overline{1..m}$.

Одним из основных инструментов, используемых при анализе и обработке экспертной информации, являются меры близости. Меры близости позволяют определить, насколько близки или далеки точки зрения экспертов. Мера близости на отношениях линейного порядка (ранжированиях) вводится аксиоматически [5]. Расстояние между ранжированиями R и R_k , которым соответствуют матрицы отношений $\|t\|_{m \times m}$ и $\|t^k\|_{m \times m}$, определяются по известной формуле

$$d(R, R_k) = \sum_{i < j} |t_{ij} - t_{ij}^k|.$$

Алгоритмы поиска итогового рейтинга НТР. Для нахождения итогового рейтинга НТР использовались как модификации известных алгоритмов, так и новые, разработанные авторами. Нами рассмотрены следующие алгоритмы: нахождение медианы Кемени, эвристический алгоритм, полный перебор строгих ранжирований, поиск результирующих ранжирований для данных с пропусками, метод Чеботарева, метод пополнения матриц. Далее рассмотрим каждый из методов более подробно.

Медиана Кемени. Медиана Кемени представляет собой аддитивную свертку без весовых коэффициентов:

$$f(R) = \sum_{k=1}^n d_k(R) \rightarrow \min.$$

Медиане равно, если существует, упорядочение Кондорсе. Кондорсе предложил следующий принцип определения наилучшего объекта. Для каждой пары объектов a_i, a_j подсчитывается s_{ij} – число экспертов, считающих a_i более предпочтительным, чем a_j . Если $s_{ij} > s_{ji}$, то объект a_i признается более предпочтительным, чем a_j .

Вычисление медианы через суммарные матрицы позволяет учитывать различные заложенные в них параметры и значительно сократить время вычислений. Пусть матрица отношений $\|t\|_{m \times m}$ соответствует искомому упорядочиванию R , представленному вектором индексов объектов $(p_1, p_2, \dots, p_m)$. Таким образом, матрица отношений $\|t\|_{m \times m}$ соответствует строгому ранжированию и $t_{p_i, p_j} = 1$ для всех $i < j$. Исходные данные представлены матрицами отношений $\|t^k\|_{m \times m}$, соответствующими ранжированиям R_k . Расстояние от произвольного ранжирования до всех ранжирований, указанных экспертами, определяется по формуле

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n d_k(R) &= \sum_{k=1}^n d(R, R_k) = \sum_{k=1}^n \sum_{i < j} |t_{ij} - t_{ij}^k| = \\ &= \sum_{i < j} \sum_{k=1}^n |t_{p_i p_j} - t_{p_i p_j}^k| = \sum_{i < j} \sum_{k=1}^n |1 - t_{p_i p_j}^k|. \end{aligned}$$

Далее,

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n d_k(R) &= \sum_{i < j} (0 \cdot N_{p_i p_j} + 1 \cdot N_{p_i p_j}^0 + 2 \cdot N_{p_j p_i}) = \\ &= \sum_{i < j} (N_{p_i p_j}^0 + 2(N_{p_i p_j}^+ - N_{p_i p_j}^0 - N_{p_j p_i})), \end{aligned}$$

откуда получим задачу оптимизации

$$\sum_{i < j} N'_{p_i p_j} \rightarrow \max, \text{ где } N'_{ij} = N_{ij} + 0,5N_{ij}^0. \quad (1)$$

Задача вычисления медианы Кемени может быть сформулирована как задача отыскания такого упорядочения объектов, а, следовательно, строк и столбцов матрицы N' , чтобы сумма ее элементов, расположенных

над диагональю, была максимальна (что соответствует упорядочению согласно принципу Кондорсе). Действительно, если $P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$ – вектор индексов упорядочения объектов по принципу Кондорсе, то $N'_{p_i p_j} \geq N_{p_j p_i}$ для $i < j$ и сумма $\sum N_{p_i p_j}$ максимальна.

Использование $N'_{ij} = N_{ij} + 0,5N_{ij}^0$ можно назвать обобщением принципа Кондорсе для случая нестрогих ранжирований.

Алгоритмы поиска медианы приведены только для строгого результирующего ранжирования, так как эвристические алгоритмы для связанных рангов неизвестны, а перебор всех возможных нестрогих ранжирований неприемлемо ресурсоемок.

Эвристический алгоритм. В [5] приводится эвристический алгоритм вычисления альтернативы Кондорсе. Приведенный ниже алгоритм отличается тем, что вместо матрицы потерь используется матрица N' . Вычисляется строгое ранжирование. Алгоритм применяется только для транзитивной матрицы N' . Матрицу N' называют транзитивной, если $N'_{ij} > N'_{ji}$, как только $N'_{ik} > N'_{ki}$ и $N'_{kj} > N'_{jk}$.

1. Проверка матрицы N' на транзитивность.
2. Вычисление вспомогательного упорядочения P^I .
- 2.1. Рассчитываем

$$s_i^1 = \sum_{j=1}^m N'_{ij}, \dots, s_m^1 = \sum_{j=1}^m N'_{mj}.$$

Находим $S_{i1} = \max s_i^1$. Объект a_{i1} ставим на первое место в искомом ранжировании. Вычеркивая в N' строку и столбец с номером i_1 , получаем новую матрицу N'^1 , множество индексов строк и столбцов которой соответственно $I^1 = J^1 = \{1, \dots, m\} \setminus i_1$.

- 2.2. В матрице N'^{k-1} вычисляем

$$s_i^k = \sum_{j=1}^n N'_{ij}, i \in I^{(k-1)}.$$

Находим $S_{ik} = \max s_i^k$. Объект a_{ik} ставим на k -е место в искомом ранжировании. Вычеркивая в N'^{k-1} строку и столбец с номером i_k , получаем матрицу N'^k , множество индексов строк и столбцов которой соответственно $I^k = J^k = \{1, \dots, m\} \setminus \{i_1, \dots, i_k\}$.

- 2.3. Алгоритм завершается после m -й итерации $I^m = J^m = \emptyset$. Получено упорядочение $P^I = (a_{i1}, \dots, a_{im})$.

Последовательно проверяем справедливость соотношений $N'_{ik+1 ik} \geq N'_{ik+1 ik}$, $k = m-1, m-2, \dots, 1$. Как только для некоторого k оно нарушено, объекты a_{ik} и a_{ik+1} в ранжировании меняем местами, а соотношение $N'_{ik+1 ik} \geq N'_{ik+1 ik}$ проверяем, начиная с объекта, непосредственно предшествующего объекту, подвергнутому перестановке.

После конечного числа шагов будет получено итоговое упорядочение P^I , для которого условие оптимальности по Кондорсе выполнено. Если требование транзитивности не выполняется, то применение эвристического алгоритма недопустимо.

Полный перебор строгих ранжирований. Строгое ранжирование можно представить перестановкой множества индексов объектов. В [6] приводятся три алгоритма генерирования всех $m!$ перестановок множества из m элементов. Для вычисления медианы Кемени выберем алгоритм, в котором каждая последующая перестановка образуется в результате выполнения однократной

транспозиции соседних элементов, что позволяет избежать вычисления суммы (1) для каждой перестановки. Для новой перестановки достаточно вычислить $\text{sum} = \text{sum} - N'_{P_{k+1}, P_k} + N'_{P_k, P_{k+1}}$, где k и $k+1$ – индексы объектов, инверсией которых получена перестановка P . В результате на порядок уменьшается время расчетов. Так как $m!$ растет весьма быстро с ростом m , перестановки 10-элементного множества можно получить в течение доли секунды, 11-элементного – за 3 секунды, 12-элементного – за 30 секунд, 15-элементного – более чем за сутки [7].

Полный перебор может привести к нескольким решениям, поэтому предлагается выбрать ближайшую медиану к решению, полученному методом строчных сумм.

Поиск результирующих ранжирований для данных с пропусками. Так как при оценивании альтернатив (НТР), возможны пропуски, т. е. респонденты будут оценивать не все альтернативы, а только те, которые их интересуют, то целесообразно использовать метод Чеботарева [8], описанный ниже, для нахождения результирующих ранжирований по каждому частному критерию. После чего выполняется нахождение обобщенного результирующего ранжирования НТР при помощи медианы Кемени. Если частных критериев больше 12 и матрица N' не транзитивна, то нахождение обобщенного результирующего ранжирования НТР выполняется при помощи метода строчных сумм.

Для матриц отношений $T_k = \|t_{ij}^k\|_{m \times m}$, $k = \overline{1..n}$ с элементами

$$t_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i > a_j, \\ 0, & \text{если } a_i = a_j, \\ -1, & \text{если } a_i < a_j, \\ "-", & \text{если объекты не сравнивались,} \end{cases}$$

вводится понятие неполных строчных сумм s_i :

$$s_i = \sum_{\substack{j,k \\ \exists t_{ij}^k}} t_{ij}^k$$

и обобщенных строчных сумм x_i :

$$x_i = s_i + \tilde{s}_i, \quad \tilde{s}_i = \sum_{\substack{j,k \\ t_{ij}^k \neq \exists}} E_T(t_{ij}^k), \quad \text{где}$$

$E_T(t_{ij}^k)$ – математическое ожидание неопределенного элемента r_{ij}^k . Выполняются следующие ограничения: $-1 \leq E_T(t_{ij}^k) \leq 1$ (так как $-1 \leq t_{ij}^k \leq 1$),

$-n(m-1) \leq x_i \leq n(m-1)$ и $\sum_{i=1}^m x_i = 0$ (свойства строчных сумм).

В случае, когда матрицы отношений не имеют пропусков, обобщенные строчные суммы совпадают с обычными строчными суммами. Если имеют место пропуски, то x_i задаются математическим ожиданием E_T .

В [8] П. Ю. Чеботарев предлагает обобщение метода строчных сумм, основанное на предположении, что математическое ожидание пропорционально разности оценок сравниваемых объектов:

$$E_T(t_{ij}^k) = \varepsilon(x_i - x_j),$$

где ε – неотрицательная постоянная. Заметим, что для ε должно выполняться условие $\varepsilon|x_i - x_j| \leq 1$ (так как

$E_T(t_{ij}^k) \in [-1; 1]$). Учитывая, что $\max |x_i - x_j| = 2n\omega(m-1)$, получаем ограничения для ε :

$$0 \leq \varepsilon \leq \frac{1}{2n(m-1)}.$$

Таким образом, получаем систему линейных уравнений:

$$x_i = s_i + \sum_{\substack{j,k \\ t_{ij}^k \neq \exists}} \varepsilon(x_i - x_j), \quad i = \overline{1..m},$$

с ограничениями:

$$-n(m-1) \leq x_i \leq n(m-1),$$

$$\sum_{i=1}^m x_i = 0, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \frac{1}{2n(m-1)}.$$

При $\varepsilon = 0$ обобщенные строчные суммы совпадают с неполными строчными суммами, которые, очевидно, дают неправильное итоговое упорядочение. Рекомендуется устанавливать для ε наибольшее значение.

Вместо матриц $\|t_{ij}^k\|_{m \times m}$ используем для оптимизации суммарные матрицы $\|N_{ij}^-\|_{m \times m}$ и $\|N_{ij}^+\|_{m \times m}$:

$$s_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m N_{ij}^-,$$

$$\sum_{\substack{j,k \\ t_{ij}^k \neq \exists}} \varepsilon(x_i - x_j) = \varepsilon \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m (x_i - x_j)(n_w - N_{ij}^+), \quad n_w = \sum_{k=1}^n w_k.$$

Система принимает вид

$$x_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m N_{ij}^- + \varepsilon \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m (x_i - x_j)(n_w - N_{ij}^+), \quad i = \overline{1..m}.$$

Преобразуем уравнение к матричному виду:

$$b_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m N_{ij}^-, \quad a_{ij} = n_w - N_{ij}^+,$$

$$a_{ii} = -\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^m (n_w - N_{ik}^+), \quad i, j = \overline{1..m}, \quad j \neq i.$$

Получим линейную систему уравнений с неизвестными x_i :

$$X + \varepsilon AX = B,$$

$$-n_w(m-1) \leq x_i \leq n_w(m-1),$$

$$\sum_{i=1}^m x_i = 0, \quad \varepsilon = \frac{1}{2n_w(m-1)}.$$

Данная система не всегда имеет решение, ищется решение, дающее наименьшую ошибку.

В проведенных численных экспериментах данный метод приводит к более корректным результатам. Он менее ресурсоемок, чем известный метод Цермело–Бредли–Тири [5]. Однако наличие многих пропусков делает ответ слабо обоснованным и непредсказуемым (несколько раз упорядочение, согласно суммам x_i , было противоположно истинному). Поэтому рекомендуется проверять полученное упорядочение с помощью модели Цермело.

Полноление матриц. В статистических моделях объектов следует ранжировать в порядке убывания величин x_i . Однако если согласно полученным параметрам x_i считать суммарные матрицы отношений, то они, как правило, будут сильно отличаться от исходных матриц. Дей-

ствительно, получая упорядочение согласно параметрам x_i , мы учитываем исходную информацию через «призму» статистической модели. Известно, что в случае матриц без пропусков данное упорядочение совпадает с упорядочением по методу строчных сумм. Предлагается согласно полученным величинам x_i заполнить пропуски в исходных матрицах отношений, после чего применить к ним метод строчных сумм. Таким образом, исходная информация будет учтена максимально полно.

Пополним суммарные матрицы отношений $\|N_{ij}\|_{m \times m}$ и $\|N_{ij}^0\|_{m \times m}$ следующим образом:

$$\dot{N}_{ij} = N_{ij} + (n_w - N_{ij}^+) P(a_i > a_j), i \neq j;$$

$$\dot{N}_{ij}^0 = N_{ij}^0 + (n_w - N_{ij}^+) P(a_i = a_j), i, j = \overline{1..m}.$$

Вероятности $P(a_i > a_j)$ и $P(a_i = a_j)$ соответствуют той статистической модели, по которой получены параметры x_i .

Рассмотрим пример. Из матрицы N (см. таблицу), применив метод Цермело–Бредли–Тири, получим параметры $x_1 = 17,5$; $x_2 = 21$; $x_3 = 1$ и результирующее ранжирование ($b > a > c$); N_x – матрица отношений, соответствующая параметрам x_i . Пополнив суммарную матрицу отношений N , получим матрицу $\dot{N}$.

Применив метод строчных сумм, найдем строчные суммы $s_1 = 9,2$, $s_2 = 7,8$, $s_3 = -17$ и результирующее ранжирование ($a > b > c$).

Предложенные алгоритмы пополнения суммарных матриц отношений позволяют более точно находить результирующее ранжирование, причем не только методом строчных сумм, но и многими известными методами для данных без пропусков.

Разреженность матриц отношений. Введем коэффициенты для оценки разреженности матриц парных сравнений: K_z – оценка пропусков, обусловленных тем, что объекты сравнивались не всеми экспертами; K_{z0} – оценка пропусков, обусловленных тем, что объекты ни разу не сравнивались:

$$K_z = \frac{2 \sum_{i>j} N_{ij}^+}{n_w m(m-1)}, K_{z0} = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{i>j, N_{ij}^+ \neq 0} 1.$$

При низких значениях коэффициентов необходимо применять метод зависимостей или исключить из рас-

смотрения объекты с малым числом сравнений. Компьютерное моделирование показывает, что приемлемые нижние значения коэффициентов – $K_z \in [0,4; 0,5]$, $K_{z0} \in [0,86; 0,92]$. При меньших значениях коэффициентов необходимо исключить часть объектов из анализа.

Полученные результаты исследования модифицированных и новых алгоритмов нахождения результирующего ранжирования НТР позволили выявить наиболее оптимальный алгоритм, показывающий достоверные результаты на исходных данных с пропусками, которые обязательно присутствуют, если оценки получают путем общественного опроса большого количества объектов. Предложенный подход к обработке результатов экспертизы позволяет находить результирующее ранжирование НТР с использованием математического аппарата бинарных отношений, рассматривая в качестве исходных данных балльные оценки по нескольким критериям.

Библиографические ссылки

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.
2. Ларичев О. И., Мошкович Е. М. Качественные методы принятия решений. М.: Физматлит, 1996.
3. Подиновский В. В. Количественная важность критериев // Автоматика и телемеханика. 2000. № 5. С. 110–123.
4. Литвак Б. Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. М.: Радио и связь, 1982.
5. Экспертные оценки в социологических исследованиях / С. Б. Крымский, Б. Б. Жилин, В. И. Паниотто и др.; отв. ред. С. Б. Крымский. Киев: Наукова думка, 1990.
6. Липский В. Комбинаторика для программистов. М.: Мир, 1988.
7. Даничев А. А. Воловик М. А., Даничев А. М. Программная система поддержки принятия решений: обработка информации в порядковых шкалах // бюллетень CAD/CAM/CAE/CALS / Краснояр. гос. техн. ун-т; науч.-образовательный центр интегрир. компьютер. технологий. Красноярск, 2004. С. 32–46.
8. Чеботарев П. Ю. Обобщение метода строчных сумм для неполных парных сравнений // Автоматика и телемеханика. 1989. № 8. С. 125–137.

Пример пополнения неполных парных сравнений

$N =$		a	b	c	$N_x =$		a	b	c	$\dot{N} =$		a	b	c
	a	0	1	–		a	0	4,5	9,5		a	0	5,1	9,5
	b	0	0	9		b	5,5	0	9,5		b	4,9	0	9
	c	–	1	0		c	0,5	0,5	0		c	0,5	1	0

A. V. Gekhman, Yu. Yu. Yakunin, A. A. Danichev, A. A. Volodin

PROCESSING OF EXPERT REPORTS RESULTS IN REGISTER OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS

The paper describes algorithms for result ranking of scientific and technological developments with the use of mathematical tools of binary relations.

Keywords: binary relations, ranking, multicriteria optimization.

И. Ю. Губанов, С. В. Беляев, П. О. Широков, А. В. Салатов, И. Ю. Маслов

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ*

Приведена методика создания виртуальной модели процесса полунепрерывного прессования длинномерных строительных профилей из алюминиевых сплавов. Представлены результаты компьютерного моделирования процесса полунепрерывного прессования с охлаждаемой форкамерной матрицей из сплава АД31. Проведено сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными.

Ключевые слова: полунепрерывное прессование алюминиевых сплавов, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, принудительно охлаждаемый прессовый инструмент.

Полунепрерывное прессование длинномерных пресс-изделий является одним из основных способов изготовления строительных профилей из алюминиевых сплавов, причем одним из главных сдерживающих факторов повышения производительности процесса является низкая скорость прессования. В свою очередь, выбор скоростного режима прессования ограничен прежде всего тепловыми условиями, которые влияют на эффективность процесса прессования. Выбор оптимальных температурно-скоростных условий является одной из главных задач технолога при разработке процесса прессования, поскольку от этого зависит эффективность процесса и уровень физико-механических свойств пресс-изделия [1]. Одним из эффективных методов управления тепловыми условиями процесса прессования алюминиевых сплавов является принудительное испарительное охлаждение прессового инструмента, в частности применение принудительно охлаждаемой форкамерной матрицы (ПОФМ). Однако внедрение в производство данной технологии сдерживается недостатком теоретических знаний и экспериментальных данных в этой области. Поэтому моделирование формоизменения и тепловых условий прессования алюминиевых сплавов с ПОФМ является актуальной задачей.

Наряду с классическими теоретическими методами математического моделирования процессов ОМД (методом совместного решения уравнений равновесия с условием пластичности; методом баланса работ; методом верхней оценки; методом линий скольжения и др.) в последние десятилетия широкое применение получили численные методы. Практически численными методами можно решить любую задачу, так как увеличение ее размерности и усложнение геометрии приводит лишь к увеличению объема вычислений. В то же время при моделировании процессов прессования на основе метода конечных элементов (МКЭ) реализованного с помощью коммерческих пакетов программ Deform-3D, PressForm, AutoForge, QForm и других в силу специфических особенностей процесса прессования исследователи сталкиваются с определенными трудностями [2].

Отмечено, что модель МКЭ должна применяться с помощью физически обоснованной методики и базироваться на экспериментальных линиях равных скоростей (изотахах) и зонах деформирования металла в контейне-

ре, полученных методами визиопластичности и координатных сеток [3; 4].

В работе [4] показано, что данные скоростей течения, полученные с применением МКЭ, качественно близки, но мало пригодны для количественной оценки при приближении к промышленным значениям коэффициента вытяжки (более 40). Это неуклонно ведет к росту ошибки в расчетах скоростей и энергозатрат до 20 %. Коммерческие пакеты МКЭ можно рассматривать для применения на промежуточном этапе в виде теста между эскизным проектом и его воплощением в рабочую документацию для промышленности, но не в качестве средства для точного расчета технологических параметров из-за больших расхождений результатов с экспериментальными данными (10...20 %) против погрешностей по классическим расчетам, обычно составляющих не более 5 % [3].

Повысить сходимость результатов виртуального эксперимента, полученных численным моделированием (МКЭ), и реального эксперимента позволяет корректировка реологии деформируемого металла. В работах [5; 6] описаны методики уточнения зависимости сопротивления деформации от параметров процесса (степени, скорости и температуры деформации). Суть методов заключается в корректировке коэффициентов уравнения реологии деформируемого металла путем сравнении усилия деформации полученного в результате расчета по аналитической зависимости [5] или виртуального эксперимента [6], с истинным усилием процесса прессования. Применение данных методик позволяет минимизировать ошибку в определении энергосиловых и температурно-скоростных параметров процесса с 10...20 до 1...5 %. С другой стороны, использование только компьютерного моделирования при оптимизации технологических параметров процесса прессования сложных профилей привело бы к постановке большого количества виртуальных экспериментов, что в разы увеличит сроки проектирования технологии. Поэтому требуется разработать такую методику проектирования технологического процесса, которая позволила бы говорить о сходимости результатов не только реального и виртуального эксперимента, но и компьютерной и аналитической модели. Это позволит еще на начальной стадии проектирования технологии оптимизировать температурно-скоростные и силовые парамет-

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект № 58-КФ).

тупа эквидистанта внешнему контуру рабочей полости форкамеры и снабжена охлаждающими каналами особой конструкции. Расчет показал, что применение принудительного испарительного охлаждения позволит увеличить скорость прессования до 12 мм/с.

Для сопоставления математической и компьютерной модели по предложенным скоростным условиям прессования выполнен виртуальный эксперимент (ВЭ), исходные параметры которого представлены в таблице.

Исходные данные виртуального эксперимента

Параметр прессования ВЭ	Значение (ВЭ с ПОФМ по эффективному диаметру)
Начальная температура, °С	
– нагрева заготовки	480
– контейнера	440
– форкамерной матрицы	410
Скорость прессования, мм/с	12
Коэффициент трения	
– в контейнере	0,5
– в форкамере	0,5
– в матрице	0,2
Высота пресс-остатка, мм	25

Геометрия виртуальной модели процесса полунепрерывного прессования и разбивка объектов модели на конечные элементы показаны на рис. 2 и 3 соответственно.

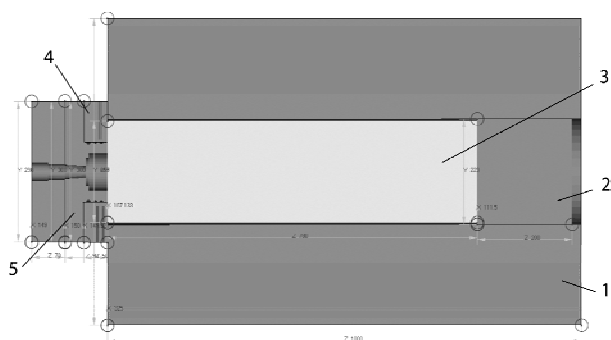


Рис. 2. Схема виртуальной модели полунепрерывного прессования с ПОФМ в пакете инженерного анализа Deform-3D: 1 – контейнер; 2 – пресс-штемпель; 3 – слиток; 4 – кольцо; 5 – матрица

Расчет проводили на двухпроцессорной ПЭВМ с тактовой частотой 2ГГц, объем ОЗУ – 4 Гб. Время решения задачи составило 121 ч.

В результате моделирования в Deform-3D построена координатная сетка (рис. 4), которая имеет характерные для прессования застойные зоны в контейнере и форкамере, резкое увеличение скорости истечения металла в осевой зоне на выходе из матрицы и запаздывание периферийных участков заготовки, что качественно не противоречит известным экспериментальным исследованиям.

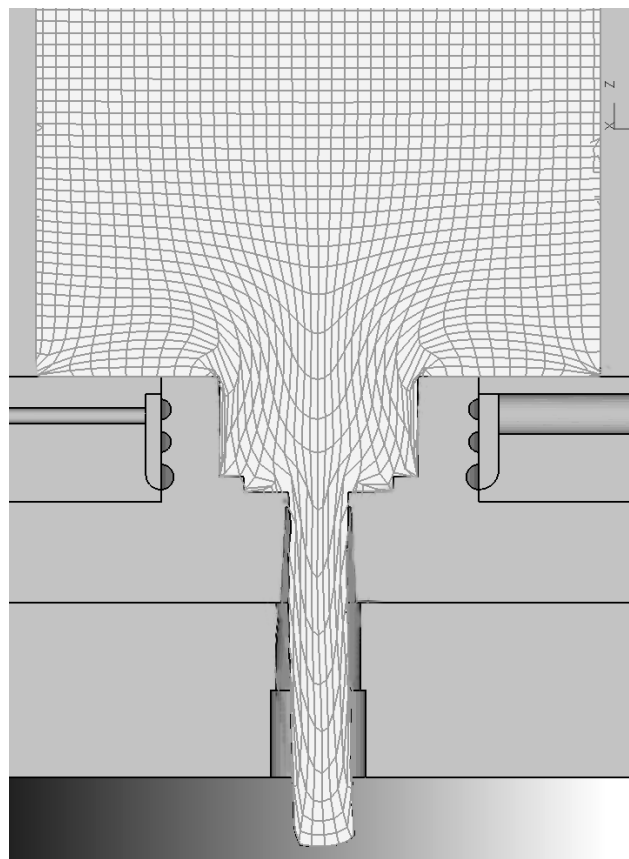


Рис. 4. Характер течения металла по результатам моделирования в Deform-3D

Сравнение энергосиловых параметров процесса полунепрерывного прессования компьютерной модели (рис. 5) и теоретического расчета показало достаточную сходимость данных. Усилие прессования по аналитической модели составило 12,3 МН, а максимальное усилие компьютерной модели, согласно рис. 4, – 12,1 МН. При

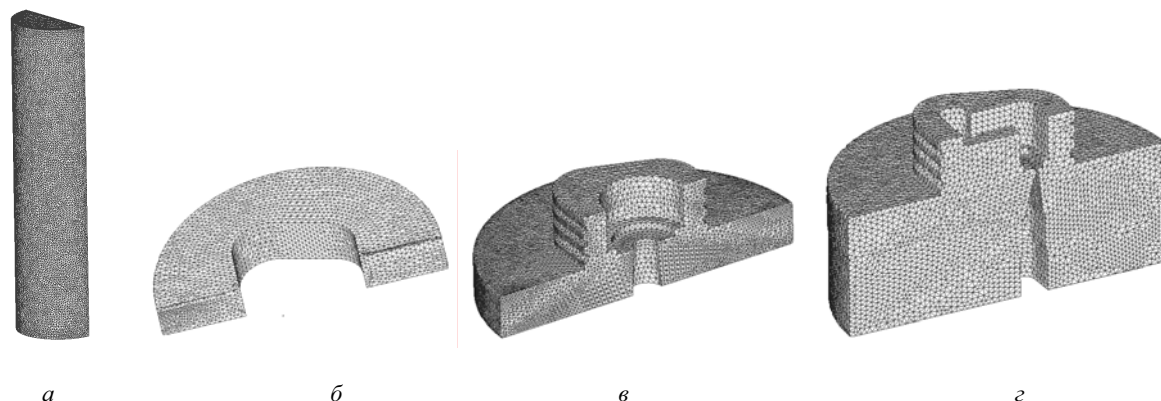


Рис. 3. Конечные элементы объектов виртуальной модели: а – слиток; б – наружное кольцо; в – форкамерная матрица по эффективному диаметру; г – форкамерная матрица по рабочему чертежу профиля

рассмотрении стадий процесса полунепрерывного прессования по изменению усилия прессования наблюдается четыре характерных зоны. В первой зоне (с 1-й по 12-ю секунду) происходит распрессовка металла в контейнере, далее выдавливание металла в форкамеру (с 12-й по 14-ю секунду) и прессование через очко матрицы с образованием характерного «горбика» на диаграмме (на 14-й секунде).

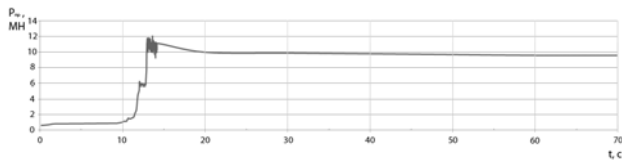


Рис. 5. Зависимость усилия прессования от времени по результатам компьютерного моделирования

Сравнение значений температуры поверхности отпрессованного профиля на выходе из ПОФМ компьютерной модели с результатами виртуального эксперимента (рис. 6) показало достаточную сходимость для инженерных расчетов (ошибка не превышает 5 %).

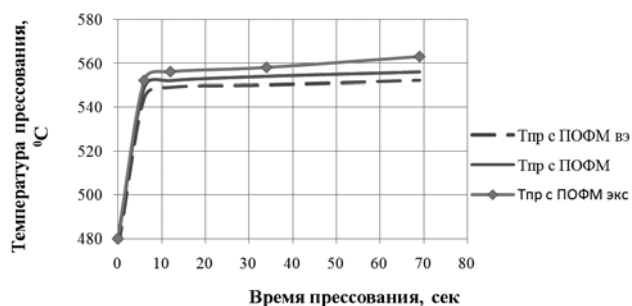


Рис. 6. Изменение выходной температуры строительного профиля КП 45302-1 из сплава АД31 при полунепрерывном прессовании на горизонтальном гидравлическом прессе усилием 25 МН: $T_{пр}$ с ПОФМ и $T_{пр}$ с ПОФМ_{вз} — расчетные значения выходной температуры профиля с использованием ПОФМ по аналитической и компьютерной модели соответственно; $T_{пр}$ с ПОФМ_{экс} — экспериментальные значения

Хорошая сходимость результатов моделирования и экспериментальных данных позволяет использовать вир-

туальную модель для дальнейшей доработки конструкции матрицы с целью обеспечения требуемого качества пресс-изделия.

Таким образом, в данной работе представлена методика проведения виртуального эксперимента процесса полунепрерывного прессования длинномерных строительных профилей из алюминиевых сплавов. Проведено компьютерное моделирование процесса прессования строительного профиля из сплава АД31. Сравнительный анализ полученных результатов показал возможность применения данной методики на практике при оптимизации технологии прессования и проектировании прессового инструмента, что в конечном счете должно привести к сокращению расходов при проектировании новой и усовершенствовании действующей технологии полунепрерывного прессования алюминиевых сплавов.

Библиографические ссылки

1. Прессование алюминиевых сплавов: моделирование и управление тепловыми условиями : монография / Н. Н. Довженко, С. В. Беляев, С. Б. Сидельников и др. ; Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2009.
2. Бережной, В. Л. Моделирование процессов прессования с использованием конечно-элементных программ: направления развития и ограничения // Технология легких сплавов. 2005. № 1–4. С. 129–136.
3. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов. М. : Мир, 1979.
4. Бережной В. Л., Щерба В. Н., Батурин А. И. Прессование с активным действием сил трения. М. : Metallurgy, 1988.
5. Горячее прессование труб и профилей / Ю. И. Манегин, А. Е. Притоманов, Т. Шпитель и др. М. : Metallurgy, 1980.
6. Hyunjoong Cho. Development of advanced techniques for identification of flow stress and friction parameters for metal forming analysis : dissertation / The Ohio State University. Columbus, 2007.
7. Вывод уравнений связи свойств алюминиевых сплавов с параметрами горячего деформирования / Я. М. Охрименко, В. Н. Щерба, А. В. Недугов и др. // Цв. металлы. 1983. № 2. С. 66–69.

I. Yu. Gubanov, S. V. Belyaev, P. O. Shirokov, A. V. Salatov, I. Yu. Maslov

FEATURES OF SIMULATION OF PROCESS OF SEMICONTINUOUS EXTRUSION OF ALUMINUM ALLOYS

The article presents technique for creation of a virtual model of semicontinuous extrusion of long structural shapes of aluminum alloy. Results of computer simulation of semicontinuous extrusion process with cooling step die of alloy AD31 are formulated and comparison of results of calculation with experimental data are presented.

Keywords: Semicontinuous extrusion of aluminum alloys, computer simulation, finite element method, forcibly cooled extrusion toolage.

С. В. Доронин, Д. В. Косолапов, Е. М. Сигова

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩЕГО ПОВОРОТНОГО ЭЛЕМЕНТА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА*

Рассматриваются особенности определения нагрузок и напряженного состояния несущего поворотного элемента рабочего оборудования экскаватора КТМ-405т модульного типа с электромеханическими толкателями.

Ключевые слова: экскаватор, рабочее оборудование, кинематика, напряженное состояние.

К принципиальным аспектам технологии проектирования сложных технических систем, к которым с полным основанием принадлежат и карьерные экскаваторы, следует отнести адекватное конструктивным решениям и условиям эксплуатации выполнение следующих основных этапов:

- анализ возможных случаев нагружения на этапах изготовления, транспортировки и эксплуатации;
- обоснование выбора ограниченного числа проектных расчетных случаев нагружения, которые являются наиболее критичными для прочности узлов и конструкций;
- установление комбинаций внешних нагрузок и их количественных значений для принятых проектных случаев нагружения.

Недостаточно тщательное выполнение этих этапов приводит к грубым системным ошибкам проектирования, устранение которых сопряжено со значительными материальными и временными затратами.

Для экскаватора как для электромеханической системы с переменной в течение цикла копания геометрией и многообразием рабочих движений анализ возможных случаев нагружения представляет собой нетривиальную задачу.

Экспериментально и теоретически установленные закономерности формирования условий нагружения получены в ходе многолетних расчетно-экспериментальных исследований экскаваторов – прямых лопат типа ЭКГ. В результате изучения и обобщения условий формирования режимов нагружения установлены четыре (пять) проектных расчетных положений рабочего оборудования [1] и определены комбинации усилий, действующих на рабочий орган и во всех элементах рабочего оборудования. Регламентация ряда проектных расчетных положений предопределяет комбинации проектных нагрузок, а также всю последовательность дальнейших расчетов элементов конструкций и оборудования.

При рассмотрении конструкции экскаватора КТМ-405т (рис. 1) (URL: <http://www.kztm.ru>) с неклассической конфигурацией, кинематикой и напором возникает серьезное затруднение в определении как расчетных положений рабочего оборудования, так и расчетных случаев нагружения отдельных элементов оборудования. В пределе можно рассматривать бесконечно большое число различных положений элементов оборудования в пространстве. Трудности в выборе расчетных положений и

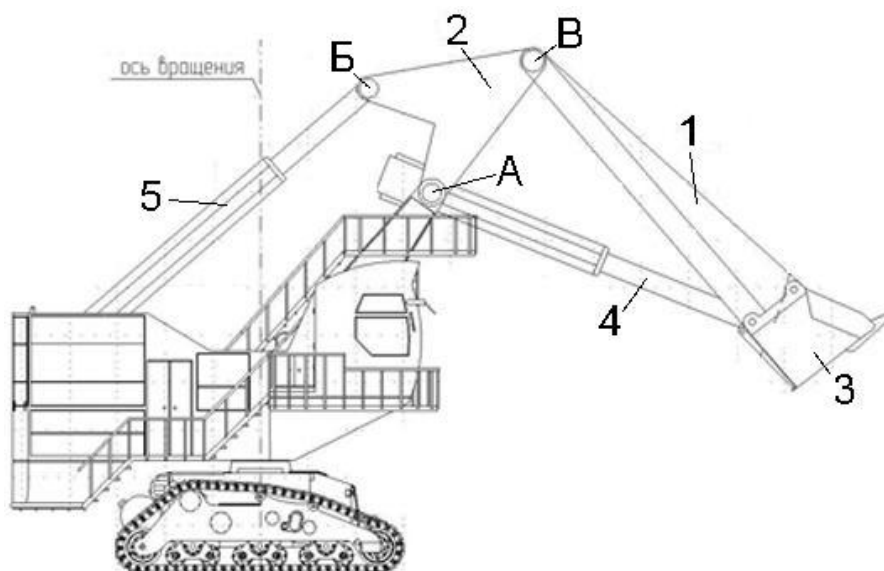


Рис. 1. Общий вид экскаватора КТМ-405т: 1 – рукоять; 2 – поворотный элемент рабочего оборудования («треугольник»); 3 – ковш; 4 – толкатель напора; 5 – толкатель подъема; А, Б, В – шарнирные соединения со стойкой, толкателем подъема и рукоятью

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект «Исследование конструктивных решений и технологии проектирования экскаваторов КТМ»).

сочетаний нагрузок, по которым с большей степенью достоверности можно вести расчет на прочность, определяются также следующими причинами [2]:

- напряжения в элементах рабочего оборудования зависят от величины и направления внешних сил, от положения элементов в пространстве и относительно друг друга;
- основная внешняя нагрузка на рабочее оборудование – сопротивление перемещению режущей кромки – бывает наибольшей при встрече ковша с непреодолимым препятствием и может быть направлена под любым углом к направлению движения режущей кромки. Величина этой нагрузки зависит от ее направления;
- максимальные напряжения в различных элементах и даже в разных сечениях одного элемента возникают не одновременно.

Рассмотрим на примере несущего поворотного элемента рабочего оборудования («треугольника») практический подход к проектным расчетам прочности элементов рабочего оборудования экскаваторов с неклассической кинематической схемой.

В кинематической схеме экскаватора КТМ-405т (см. рис. 1) предполагается реализовывать требуемую траекторию ковша 3 путем независимой работы толкателя подъема 5 или совместной его работы с толкателем напора 4. Усилие, развиваемое толкателем подъема, передается на рукоять 1 посредством «треугольника» 2, который шарнирно соединен с толкателем подъема и рукоятью, а также с неподвижной стойкой, выполняющей функцию опорного элемента.

Очевидно, диапазон возможных положений «треугольника» в цикле копания полностью определяется ходом толкателя подъема, чего нельзя сказать об усилиях, воспринимаемых конструкцией «треугольника».

Рассмотрим расчетную схему (рис. 2) формирования нагрузок на конструкцию «треугольника» (рис. 3). «Треугольник» шарнирно закреплен в точке А на стойке и воспринимает усилия f_1 от стержня 1 (рукояти) и f_5 от стержня 5 (толкателя подъема). Проекция этих усилий на оси x, y в соответствующих шарнирах «треугольника» составляют

$$\begin{aligned} F_{xB} &= f_5 \cos \delta, \\ F_{yB} &= -f_5 \sin \delta, \\ F_{xB} &= f_1 \cos \theta, \\ F_{yB} &= -f_1 \sin \theta, \end{aligned}$$

где углы δ и θ вычисляются для любого положения рабочего оборудования, исходя из геометрии «треугольника» и кинематического анализа рабочего оборудования как плоского механизма. Эти проекции при номинальном режиме нагружения распределяются симметрично относительно вертикальной плоскости копания (см. рис. 3).

Исследование сходимости и обоснование требуемого уровня дискретизации сетки конечных элементов выполнено для 1/2 части «треугольника», имеющего плоскость симметрии, для положения рабочего оборудования, характеризующегося максимальным вылетом толкателя напора и максимальным ходом толкателя подъема. Ковш при этом находится в самом верхнем положении. Применительно к модели «треугольника» измельчение сетки конечных элементов для исследования сходимости выполнялось прямым заданием размера ребра

конечного элемента. При этом формировалась регулярная сетка из одинаковых 10-узловых тетраэдральных конечных элементов.

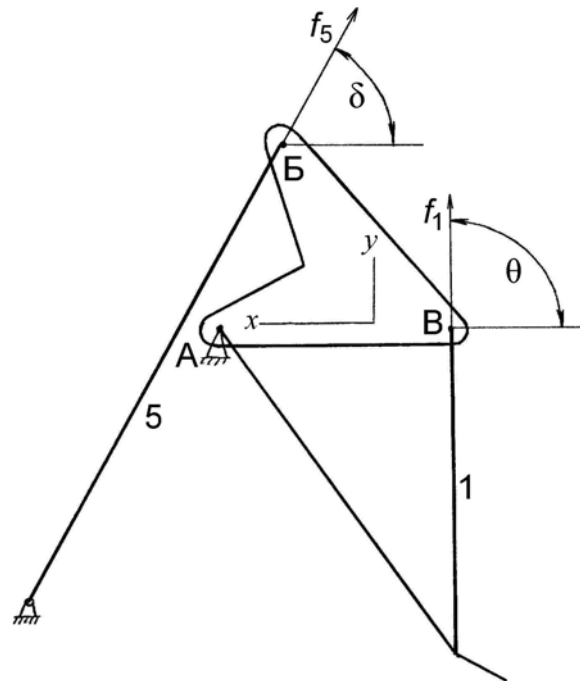


Рис. 2. Расчетная схема «треугольника»

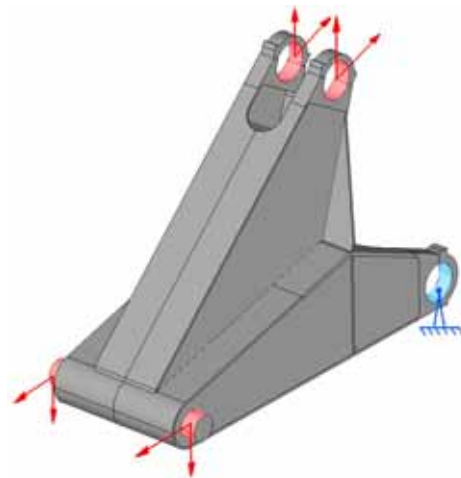


Рис. 3. Твёрдотельная модель «треугольника»

При последовательном измельчении сетки конечных элементов сходимость результатов достигнута при размере ребра конечного элемента 20 мм (рис. 4): максимальные напряжения $\sigma_{\max} = 151,0$ МПа, полученные при длине ребра 20 мм (468 167 узлов и 247 035 элементов), практически не отличаются от максимальных напряжений $\sigma_{\max} = 149,7$ МПа, полученных при длине ребра 15 мм (949 329 узлов и 517 473 элемента). При этом наиболее нагруженными, как показывает уточненный расчет всей конструкции «треугольника», оказываются узлы шарнирных соединений «треугольника» со стойкой, рукоятью и толкателем подъема с зоной максимума в области конструктивного концентратора напряжений.

Дальнейшее увеличение степени измельчения сетки приводит к резкому росту размерности модели и флуктуации результатов вокруг некоторого уровня, что сви-

детельствует о неустойчивости результатов. Так, при длине ребра 10 мм количество узлов и элементов исчисляется уже миллионами (2 772 996 узлов и 1 671 730 элементов), максимальные напряжения достигают 189,6 МПа. В связи с этим все дальнейшие расчеты выполнены при сетке конечных элементов, формирующейся при длине ребра элемента 20 мм.

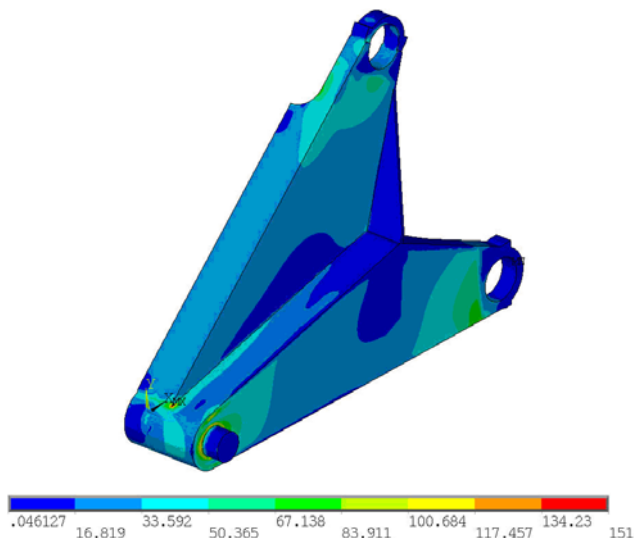


Рис. 4. Распределение интенсивности напряжений в «треугольнике» при длине ребра конечного элемента 20 мм

Для оценки вклада горизонтальных и вертикальных составляющих внешней нагрузки в формирование характера изменения работы «треугольника» в цикле копания осуществлено моделирование его напряженно-деформированного состояния при максимальном вылете толкателя напора при действии единичных горизонтального и вертикального усилий на кромке ковша.

Напряженное состояние «треугольника», вызываемое горизонтальным единичным усилием на ковше, характеризуется следующим образом. В начале цикла копания наиболее нагруженным является узел шарнирного соединения «треугольника» со стойкой. В этом узле возникают наибольшие и наименьшие абсолютные значения напряжений, наибольшие градиенты напряжений. Вторым по степени нагруженности является узел шарнирного соединения «треугольника» с рукоятью.

В течение цикла копания (по мере увеличения хода толкателя подъема Δl) наблюдается постепенное смещение максимума напряжений от узла шарнирного соединения «треугольника» со стойкой к узлу шарнирного соединения «треугольника» с рукоятью. При этом узел шарнирного соединения «треугольника» со стойкой характеризуется наибольшим градиентом напряжений в течение всего цикла копания.

Напряженное состояние «треугольника», вызываемое вертикальным единичным усилием на ковше, характеризуется следующим образом. В течение всего цикла копания максимум напряжений наблюдается в зоне конструктивного концентратора напряжений вблизи узла шарнирного соединения «треугольника» с рукоятью. Весь этот узел, как и узел шарнирного соединения «треугольника»

со стойкой, характеризуется большими градиентами напряжений. Причем минимум напряжений в течение всего цикла копания наблюдается именно в последнем узле.

Таким образом, поскольку единичные горизонтальные и единичные вертикальные нагрузки на кромке ковша приводят к возникновению зон относительно высоких напряжений и градиентов только в двух шарнирных узлах, можно предположить, что любое сочетание по направлению и величинам горизонтальных и вертикальных составляющих нагрузок на кромке ковша не приведет к кардинальному изменению характера напряженного состояния «треугольника». В этом случае задача сводится к количественному анализу уровней максимальных напряжений.

Оценка напряженного состояния «треугольника» в цикле копания от веса горной массы в ковше и рабочих нагрузок при равномерном их распределении по длине кромки ковша осуществлялась для конфигурации, характеризующейся максимальным вылетом толкателя напора, при этом рассматривались дискретные состояния положения рабочего оборудования, определяемые ходом толкателя подъема в цикле копания, равным $\Delta l = 0; 735; 1\,176; 1\,764; 2\,352; 3\,040$ мм.

Напряженное состояние «треугольника» для определенных таким образом положений рабочего оборудования характеризуется следующим образом. Характер распределения интенсивности напряжений в течение цикла копания не изменяется. Зоны максимальных значений интенсивности напряжений локализованы в узле шарнирного соединения «треугольника» со стойкой и области конструктивного концентратора напряжений вблизи узла шарнирного соединения «треугольника» с рукоятью.

Количественные значения максимальных напряжений, составляя 161 МПа в начале цикла копания, к концу цикла снижаются до 119 МПа. При таких уровнях напряжений существует опасность возникновения и развития трещин многоциклового усталости.

Оценка напряженного состояния «треугольника» от рабочих нагрузок при неравномерном их распределении по длине кромки ковша представляет особый интерес при работе экскаватора в структурно неоднородных забоях с переменными значениями сопротивления породы внедрению ковша.

В связи с этим решена серия задач при различных значениях k_1 и k_2 ($k_1 + k_2 = 1$) для оценки чувствительности напряженного состояния «треугольника» к неравномерному распределению усилий по оси шарниров (рис. 5).

Кроме ранее решенной задачи для соотношения $k_1 : k_2 = 0,5 : 0,5$ (см. рис. 4), дополнительно получены результаты для $k_1 : k_2 = 0,6 : 0,4$, $k_1 : k_2 = 0,7 : 0,3$, $k_1 : k_2 = 0,8 : 0,2$ (рис. 6); $k_1 : k_2 = 0,9 : 0,1$, $k_1 : k_2 = 0,95 : 0,05$.

При возрастании степени неравномерности распределения нагрузки вдоль оси шарниров уровень максимума интенсивности напряжений возрос от 149,7 МПа до 227,1 МПа, что подтверждает опасность неравномерного распределения усилий по кромке ковша для напряженного состояния элементов конструкций и узлов экскаватора.

По результатам выполненного исследования сделаны следующие выводы.

Наиболее нагруженными узлами «треугольника» являются узел шарнирного соединения со стойкой и узел шарнирного соединения с рукоятью. В области последнего имеется конструктивный концентратор напряжений, представляющий собой пересечение двух наклонных и одного вертикального листов. В номинальных условиях нагружения (при равномерном распределении реакции забоя по кромке ковша) максимальные уровни напряжений в течение цикла копания достигают 160 МПа и могут явиться причиной возникновения трещин многоциклового усталости.

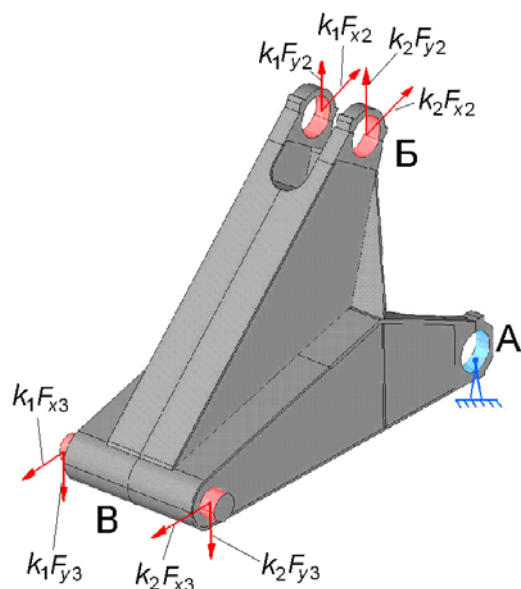


Рис. 5. Распределение усилий между зонами нагружения «треугольника»

Неравномерное распределение усилий между двумя зонами нагружения одного шарнира «треугольника», являющееся следствием неравномерного распределения реакции забоя по длине кромки ковша, приводит к повышению максимальных значений действующих напряжений свыше 200 МПа и снижению прогнозируемых значений усталостной долговечности.

Библиографический ссылки

1. Хмызников К. П., Лыков Ю. В. Горные машины для открытых работ. Карьерные экскаваторы : учеб. пособие / С.-Петерб. горный ин-т. СПб., 1999.
2. Павлов В. Анализ расчетных положений рабочего оборудования экскаватора в среде SolidWorks-visualNASTRAN [Электронный ресурс] // САПР и графика. 2007. № 2. URL: <http://www.sapr.ru/Article.aspx?id=17587> (дата обращения: 20.10.2010).

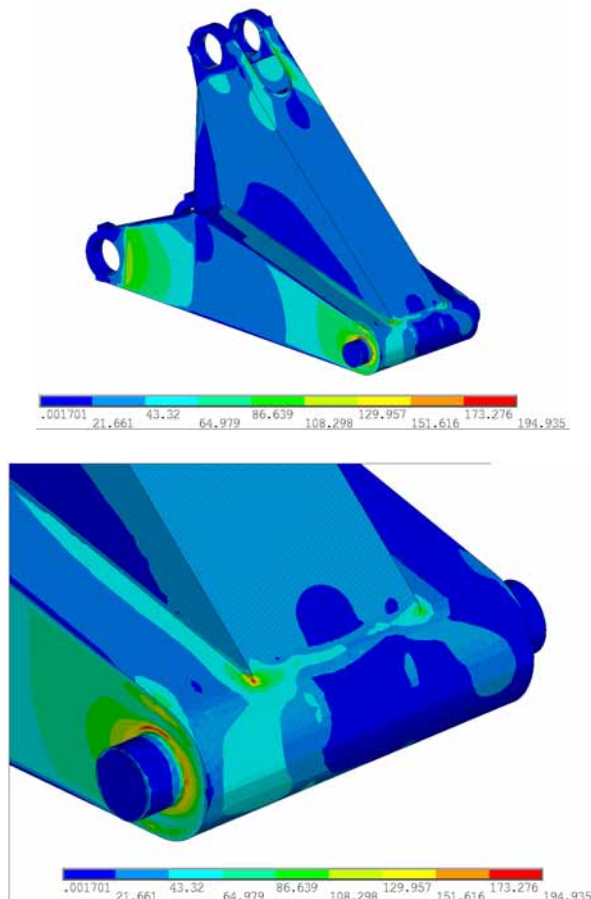


Рис. 6. Распределение интенсивности напряжений в «треугольнике» при $k_1 : k_2 = 0,8 : 0,2$

S. V. Doronin, D. V. Kosolapov, E. M. Sigova

RESEARCH OF STRESS STATE OF CARRYING ROTARY DETAIL OF OPEN-MINE EXCAVATOR OPERATIONAL EQUIPMENT

In the article we consider characteristic properties of determination of loads and stress state of carrying rotary detail of operational equipment of modular open-mine excavator KTM-405m with electromechanical pushers.

Keywords: excavator; operational equipment; kinematics; stress state.

© Доронин С. В., Косолапов Д. В., Сигова Е. М., 2010

С. В. Доронин, В. В. Москвичев, Ю. П. Похабов

ОБОСНОВАНИЕ НАГРУЗОК ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ СЛУЧАЕВ НАГРУЖЕНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА*

Обоснован и практически реализован подход к обоснованию нагрузок для установления расчетных случаев нагружения экскаватора КТМ-405т модульного типа с электромеханическими толкателями.

Ключевые слова: экскаватор, расчетные случаи, проектные нагрузки.

При экспертной оценке конструктивных решений карьерных машин один из важнейших вопросов заключается в анализе обоснованности принятых при проектировании расчетных нагрузок, являющихся основой проведения комплекса расчетов прочности, жесткости, устойчивости и надежности конструкций. Для решения этой задачи необходимо определить наиболее опасные комбинации нагрузок по величинам и направленности действия. Выделить такие опасные комбинации нагрузок можно на основе детального анализа проектных решений, условий работы экскаватора в забое и физико-механических характеристик грунта.

Методически задача обоснования нагрузок для установления расчетных случаев нагружения карьерных экскаваторов сводится к следующим пошаговым операциям.

1. Рабочее оборудование карьерного экскаватора рассматривается как механическая система, состоящая из N взаимосвязанных элементов e_i ($i = 1, N$).

2. Выделяются фиксированные расчетные положения K рабочего оборудования экскаватора, и составляется матрица размерности $N \times K$, содержащая значения силовых факторов F (усилий, моментов, напряжений и пр.) в каждом элементе системы для каждого расчетного положения (см. таблицу).

3. Для каждого элемента системы выполняется поиск максимума силовых факторов в диапазоне значений для рассмотренных расчетных положений.

4. Комбинации максимумов силовых факторов в дальнейшем рассматриваются как расчетные случаи нагружения для соответствующих элементов механической системы (в условном примере таблицы это расчетные положения 2, 3 и 6 для элементов 3, 2 и 1 соответственно).

В ходе проведения экспертизы конструктивных решений и технологии проектирования экскаваторов КТМ-405т, разработанных в КБ «КрасТяжМаш», упомянутый методический подход был реализован в следующем объеме.

1. Разработана укрупненная конечно-элементная модель конструкции рабочего оборудования верхнего строения (рис. 1) и определено конечное множество конфигураций модели с учетом кинематики экскаватора. Модель представлена стержневыми элементами высокой жесткости и предназначена только для исследования распределения усилий в элементах оборудования в течение цикла копания.

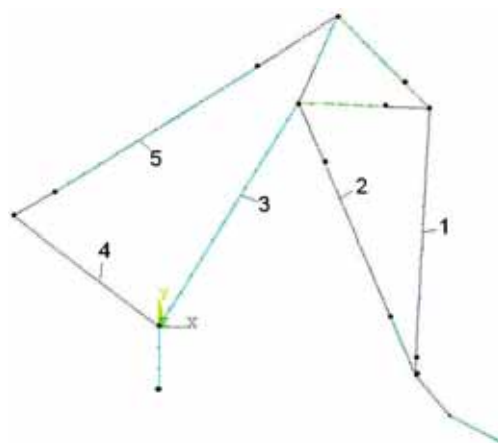


Рис. 1. Стержневая модель: 1 – стержень, соответствующий стреле; 2 – стержень, соответствующий толкателю напора; 3 – стержень, соответствующий правой части рамы платформы поворотной и стойки; 4 – стержень, соответствующий левой части платформы поворотной; 5 – стержень, соответствующий толкателю подъема

Расчетные значения силовых факторов

Расчетное положение	Элементы механической системы						
	1	2	3	...	...	...	N
1	F_{11}	F_{12}	F_{13}	...	...	...	F_{1N}
2	F_{21}	F_{22}	$F_{23} = F_{k3\max}$	...	...	...	F_{2N}
3	F_{31}	$F_{32} = F_{k2\max}$	F_{33}	...	...	...	F_{3N}
4	F_{41}	F_{42}	F_{43}	...	...	...	F_{4N}
5	F_{51}	F_{52}	F_{53}	...	...	...	F_{5N}
6	$F_{61} = F_{k1\max}$	F_{62}	F_{63}	...	...	...	F_{6N}
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
K	F_{K1}	F_{K2}	F_{K3}	...	...	...	F_{KN}

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект «Исследование конструктивных решений и технологии проектирования экскаваторов КТМ»).

Конфигурация этой модели варьировалась в связи с переменной длиной стержней 2 (в связи с возможным выдвижением толкателя напора) и 5 (в связи с возможным выдвижением толкателя подъема). Возникающие при этом вариации положений рабочего оборудования были представлены следующим образом. Рассматривались пять последовательных положений, возникающих при втягивании толкателя напора (длина стержня 2 при этом принимает значения 7 950, 7 250, 6 550, 5 850, 5 150 мм) и 22 положения, возникающих при выдвижении толкателя подъема (удлинение стержня 5 при этом принимает значения 0, 147, 294, 441, 588, 735, 882, 1 029, 1 176, 1 323, 1 470, 1 617, 1 764, 1 911, 2 058, 2 205, 2 352, 2 499, 2 646, 2 793, 2 940, 3 040 мм). В результате задача сводится к анализу распределения усилий в 110 расчетных конфигурациях рабочего оборудования.

2. Обоснован характер и уровень нагрузок, воспринимаемых рабочим органом экскаватора в цикле копания путем следующих построений.

Выбор условий нагружения (усилий на кромке ковша при его взаимодействии с забоем) представляет собой серьезную проблему. Подход, общепринятый в настоящее время, распространяется на ковши одноковшовых и многоковшовых экскаваторов и рабочие органы других машин, взаимодействующих с грунтом. Он заключается в следующем [1].

Копание рассматривается как совмещение двух операций: отделения грунта от массива и заполнения им рабочего органа. Усилие, возникающее при выполнении первой операции, по направлению близко совпадает с поверхностью забоя. Это усилие называется касательным (к траектории движения кромки ковша). Усилие, регулирующее толщину отделяемого слоя грунта (стружки), перпендикулярно касательному, это усилие подачи (напора).

Таким образом, нагрузки рабочего органа сводятся к двум составляющим:

- силе P_{01} , касательной к траектории копания;
- силе P_{02} , нормальной к линии действия касательной силы. Считается, что нормальная составляющая P_{02} следует по величине за изменениями касательного усилия P_{01} , обычно она гораздо меньше P_{01} и даже максимальные значения P_{02} редко превышают $(0,4 \dots 0,5)P_{01}$ (обычно это вызывается встречей с препятствиями и сильным затуплением режущей кромки) [1]. Вместе с тем величина P_{02} может быть и намного меньше, чем $0,5P_{01}$. В связи с этим и изменением направлений сил P_{01} и P_{02} в разных точках траектории копания целесообразно привести произвольную систему внешних нагрузок к декартовой системе координат с началом на кромке ковша.

Любая система сил P_{01} и P_{02} может быть представлена суммой их проекций на оси декартовой системы координат (рис. 2):

$$P_x = P_{01} \sin \gamma + P_{02} \cos \gamma, \quad P_y = P_{01} \cos \gamma + P_{02} \sin \gamma,$$

где P_{01} , P_{02} принимаются с учетом их ориентации относительно осей x и y .

Принятые условия нагружения (реакции грунта при взаимодействии с ковшом) являются одной из множества возможных реализаций. Необходимо обоснование этого множества для пород с заданными физико-механически-

ми свойствами с учетом предельных усилий, развиваемых толкателями напора и подъема и особенностей траектории движения кромки ковша в цикле копания.

3. Рассмотрены комплексные условия нагружения, включающие в себя определенные в п. 2 усилия копания, собственный вес элементов рабочего оборудования, переменный в течение цикла копания вес горной массы в ковше экскаватора. Для этих условий нагружения определены внутренние силовые факторы в элементах рабочего оборудования.

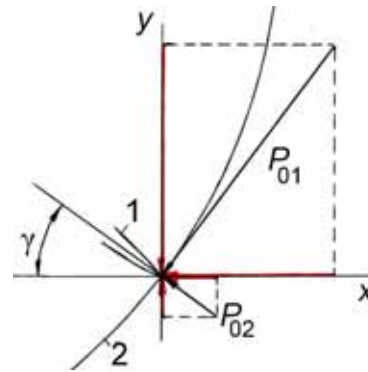


Рис. 2. Усилия, действующие на режущую кромку (зуб ковша) 1, взаимодействующую с породой по траектории 2

Поскольку машины рассматриваемого класса проектируются и используются как линейные системы (деформирование в пределах упругости), достаточно знать их реакции (под которыми в данном контексте будем понимать усилия в стержнях конечно-элементной модели на рис. 1) на единичные вертикальные и единичные горизонтальные усилия. Это вытекает из следующих двух фундаментальных гипотез:

- для решения задач конструкционной прочности линейных систем широко применяется принцип суперпозиции (принцип независимости действия и сложения сил), согласно которому усилия в любом элементе конструкции, вызванные различными физико-механическими факторами, равны сумме усилий, вызванных каждым из этих факторов, и не зависят от порядка их приложения [2];

- согласно основам векторной алгебры [3, с. 685], любой вектор a можно представить через прямоугольные декартовы координаты вектора:

$$a = a_x \cdot i + a_y \cdot j + a_z \cdot k,$$

где a_x , a_y , a_z – прямоугольные декартовы координаты вектора; i , j , k – единичные векторы.

Используя вышеупомянутые гипотезы для линейных систем, легко определить реакции при произвольном нагружении любой комбинацией как по направлениям, так и по величинам внешних нагрузок, не производя многократных громоздких расчетов. Для этого достаточно расчета реакций от единичных горизонтальных и вертикальных усилий на режущей кромке ковша и от весовых нагрузок (собственного веса машины). Далее, используя принцип суперпозиции и масштабные множители для единичных усилий (прямоугольные декартовы координаты векторы), можно легко вычислить расчетную реакцию в любом элементе конструкции экскаватора.

Соответствующие реакции вычислены для всех элементов рабочего оборудования экскаватора (на рис. 3–5 приведены примеры для стержня 2 при первом положении толкателя напора).

4. Найдены максимумы внутренних силовых факторов в элементах рабочего оборудования, вычисленных в соответствии с п. 3 на множестве внешних нагрузок, возникающих при взаимодействии ковша с забоем. Это позволяет сформировать группу расчетных случаев нагружения, каждый из которых соответствует максимальному уровню нагруженности одного или нескольких элементов конструкций.

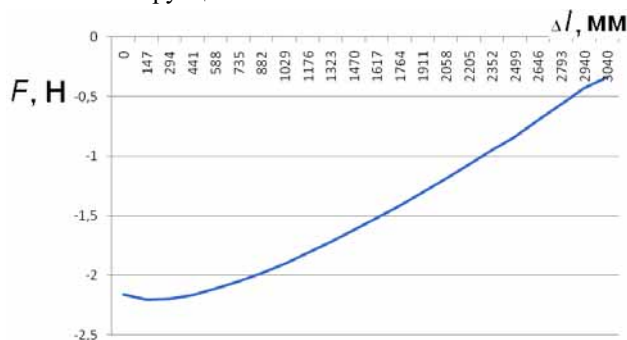


Рис. 3. Зависимость осевого усилия в стержне 2 от единичной горизонтальной нагрузки



Рис. 4. Зависимость осевого усилия в стержне 2 от единичной вертикальной нагрузки

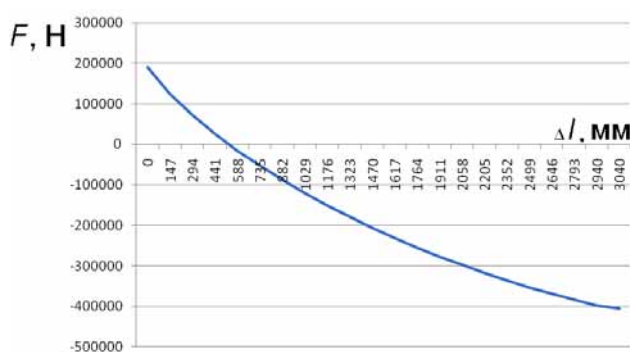


Рис. 5. Зависимость осевого усилия в стержне 2 от собственного веса рабочего оборудования

Рассмотрим в качестве примера использования полученных зависимостей оценку усилий в левой части платформы поворотной в течение цикла копания при заторможенном толкателе напора при его максимальной длине. Рассматриваемая левая часть платформы поворотной представлена стержнем 4 на рис. 1. Расчет выполняется для дискретных состояний положений рабочего оборудования, характеризующихся ходом толкателя подъема в цикле копания, равным $\Delta l = 0; 735; 1\,176; 1\,764; 2\,352; 3\,040$ мм.

В предположении пропорциональной связи между степенью заполнения ковша и ходом толкателя подъема (ковш наполняется с постоянной интенсивностью по мере вытягивания толкателя подъема) получаем следующие значения веса горной массы в ковше, Н:

Δl , мм	P_r , Н
0	0,4
735	1,6
1 176	2
1 764	2,3
2 352	2,3
3 040	2,05

По мере вытягивания толкателя подъема (увеличения его хода) изменяется угол γ (см. рис. 1) наклона рукоятки к горизонту. Он вычисляется исходя из геометрических соображений:

Δl , мм	γ , град
0	81,9
735	48,9
1 176	35,8
1 764	20,7
2 352	6,6
3 040	-9,5

Приложенная к кромке ковша нагрузка (реакция забоя) складывается из горизонтальной

$$P^r = P_{01} \sin \gamma + P_{02} \cos \gamma$$

и вертикальной

$$P^b = P_{01} \cos \gamma + P_{02} \sin \gamma + P_r$$

составляющих:

Δl , мм	P^r , Н	P^b , Н
0	106 047	63 591
735	108 225	128 311
1 176	99 049	149 039
1 764	82 120	178 665
2 352	61 162	188 489
3 040	32 810	200 376

Для этих положений толкателей напора и подъема устанавливаем следующие осевые усилия в стержне 4 от единичных вертикальной и горизонтальной нагрузок:

Осевое усилие, Н	Δl , мм					
от единичной нагрузки на ковш	0	735	1 176	1 764	2 352	3 040
от горизонтальной	0,08	0,1	0,16	0,18	0,15	0,06
от вертикальной	-0,2	-0,18	-0,1	0,04	0,14	0,26

Тогда усилия в стержне 4 составят:

Δl , мм	Осевое усилие, Н
0	$106\,047 \cdot 0,08 + 63\,591 \cdot (-0,2) = -3\,386$
735	$108\,225 \cdot 0,1 + 128\,311 \cdot (-0,18) = -12\,273$
1 176	$99\,049 \cdot 0,16 + 149\,039 \cdot (-0,1) = 944$
1 764	$82\,120 \cdot 0,18 + 178\,665 \cdot 0,04 = 36\,710$
2 352	$61\,162 \cdot 0,15 + 188\,489 \cdot 0,14 = 35\,563$
3 040	$32\,810 \cdot 0,06 + 200\,376 \cdot 0,26 = 54\,066$

Выполнение аналогичных построений с учетом осевых усилий от весовых нагрузок и с меньшим шагом изменения хода толкателя подъема позволяет для каждого элемента конструкции установить наибольшие усилия в цикле копания при заданном положении толкателя напора.

Таким образом, на примере вычисленных значений реакций в стержне 4 для приведенных примеров нагружения рабочего оборудования верхнего строения в цикле копания видно, что реакция в стержне 4 меняется от $-180\,000$ Н (случай, когда толкатель напора полностью выдвинут, а толкатель подъема полностью втянут) до $54\,066$ Н (случай, когда толкатели напора и подъема полностью выдвинуты). Для стержня 4 это два разных случая нагружения, поскольку в первом случае характер нагружения предполагает расчет конструктивного исполнения стержня 4 на устойчивость, а во втором случае – расчет на прочность.

Применение представленной методики обоснования нагрузок для установления расчетных случаев нагружения экскаваторов КТМ-405т позволило выявить случаи нагружения, которые не были учтены разработчиками экскаваторов при проектировании и конструировании.

Методика позволяет существенно упростить установление расчетных случаев нагружения экскаватора и является универсальной, пригодной для любого типа экскаваторов.

Библиографические ссылки

1. Домбровский Н. Г. Многоковшовые экскаваторы. М. : Машиностроение, 1972.
2. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев : Наукова думка, 1988.
3. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М. : Наука, 1980.

S. V. Doronin, V. V. Moskvichev, Yu. P. Pokhabov

LOADS VALIDATION FOR DETERMINATION OF LOADING CASES OF OPEN-MINE EXCAVATOR

Here we present an approach to determination of design conditions for open-mine modular excavator KTM-405m with electromechanical pushers which is proved and worked in practice.

Keywords: excavator, loading cases, design loads.

© Доронин С. В., Москвичев В. В., Похабов Ю. П., 2010

УДК 519.876.2, 330.46

В. М. Журавлев, Ю. Ю. Якунин

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ОРГАНИЗАЦИЙ*

Рассматривается подход к моделированию организационных систем, основанный на описании динамики состояний системы в зависимости от управляющих воздействий на ее структуру, в том числе на структуру информационного поля. Приводится общий принцип декомпозиции организационных систем.

Ключевые слова: управление, организационная система, моделирование.

Управление сложной организационной системой требует наличия формализованной модели. В настоящее время теоретические основы моделирования в данной обла-

сти находятся в стадии развития и не имеют законченных результатов, позволяющих комплексно рассматривать организационную систему как систему с субъектом и

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

объектом управления и на этой основе строить ее динамическую модель. Зарекомендовавшие себя теории в этой области (теория принятия решений, теории игр) позволяют моделировать поведение субъектов в организационной системе или взаимодействие самих организационных систем (агентов) и успешно используются для моделирования частных задач организационного управления, но плохо подходят для построения «полной» модели организационной системы из-за predetermined ограничений, связанных с экспоненциальной зависимостью вариантов взаимодействий (совокупности возможных сочетаний действий) от числа субъектов. Кроме того, использование указанных теорий осложняется особенностями организационных систем, имеющих большое количество важных с точки зрения моделирования причинно-следственных связей внутри системы, а формализация этих связей носит нетривиальный характер и в большинстве случаев либо невозможна, либо возможна частично. Для построения плохо формализуемых зависимостей используют аппараты регрессионного моделирования, факторного анализа, распознавания образов и т. д.

Однако для решения задачи моделирования организационной системы существующие математические аппараты не могут применяться в чистом виде. Решение поставленной задачи может быть достигнуто методами системно-

го анализа, использующего указанные математические аппараты в совокупности, через решение следующих исследовательских задач: 1) построения структуры организационной системы и ее подсистем: подсистемы управления (субъект), подсистемы функционирования (объект), информационного поля, управляющих воздействий, подсистемы поддержки принятия решений; 2) установления иерархической структуры показателей, характеризующих объект, зависимости их от структуры подсистем и возможностей их сведения в комплексные показатели; 3) синтеза структуры объекта; 4) определения общей структуры внешних воздействий и их трансформации в набор управляющих решений.

Задачей исследования является разработка подхода к моделированию организационных систем на основе исследования зависимостей динамики состояний систем от управляющих воздействий на ее структуру, в том числе на структуру информационного поля.

Немаловажную роль в управлении организационной системой играют автоматизированные информационные системы (АИС), которые при наличии в них подсистемы поддержки принятия решений (ППР) значительно повышают эффективность моделирования и эффективность управления. Таким образом, подход к моделированию организационной системы должен учитывать подсистему ППР как неотъемлемую часть модели и системы.

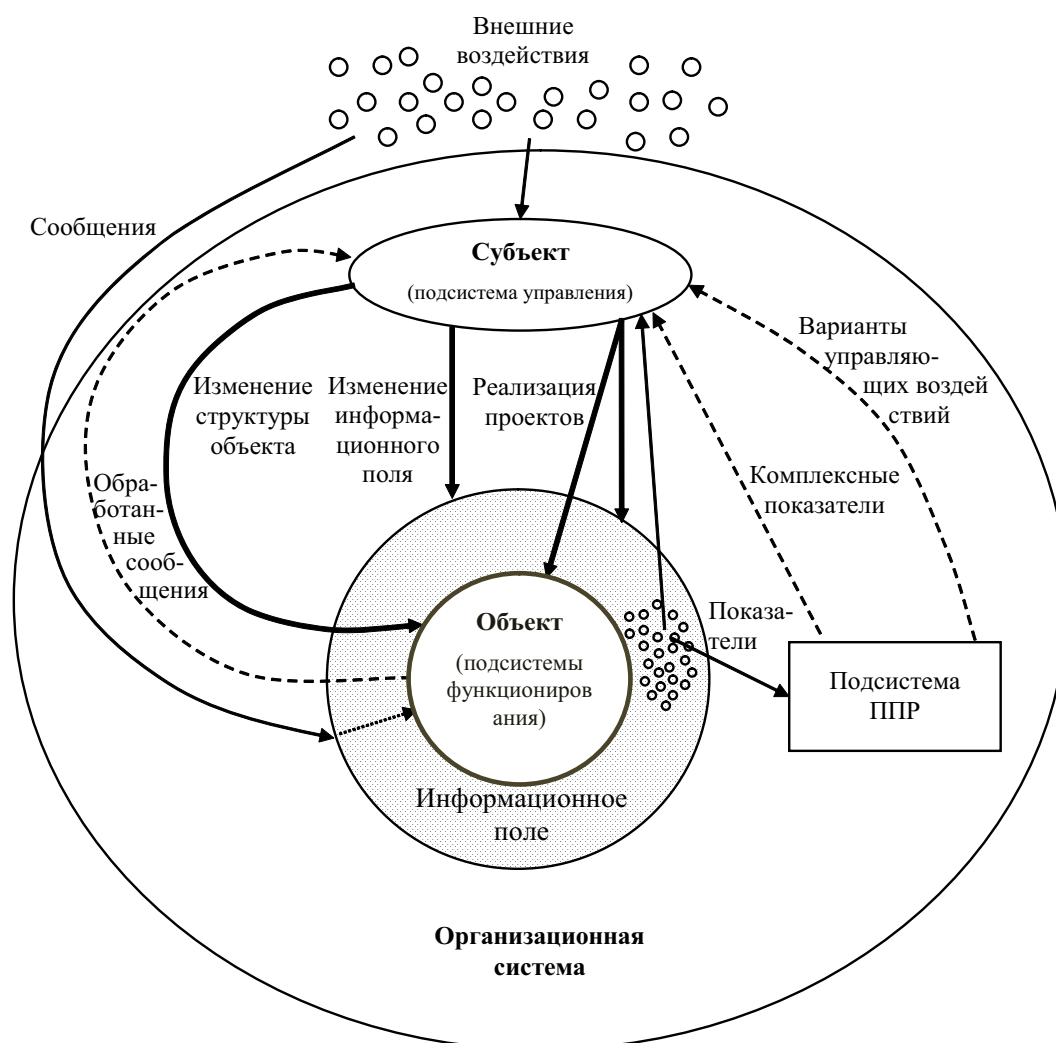


Рис. 1. Общая структура организационной системы

Общая структура организационной системы. При моделировании организационной системы в первую очередь необходимо идентифицировать ее структуру, которая с позиции системного подхода должна иметь объект и субъект управления [1]. На основе этого подхода авторами разработана общая структура модели организационной системы (рис. 1), в которой кроме объекта и субъекта управления присутствует подсистема ППР, обеспечивающая обработку информации и генерацию вариантов управляющих воздействий для субъекта управления. Все элементы связаны между собой потоками информации, от субъекта к объекту направлены управляющие воздействия (обозначенные жирными стрелками), а от объекта и подсистемы ППР к субъекту идет обратная связь (пунктирные стрелки). Построение модели такой системы заключается в идентификации структуры описанных элементов и связей между ними.

Особую роль в этой структуре играет информационное поле, которое является носителем всей информации объекта и системы в целом, проводником между объектом и субъектом и поставщиком данных для обработки в подсистему ППР. Информационное поле содержит в себе как структурированную информацию, которая может храниться в базах данных, так и неструктурированную (знания, представления об информации каждым отдельным индивидуумом).

Формализуя описанную структуру системы, можно как получить срез этой системы в некоторый момент времени, характеризуемый значениями показателей (состояние системы), так и построить ее динамическую модель, которая может носить дискретный или непрерывный характер. Принцип дискретной динамической модели в пространстве одного показателя, где в заданный момент

времени t_i система может принимать определенное количество состояний по этому показателю, приведен на рис. 2. В этом случае субъектом может задаваться либо желательный «путь», который система должна пройти, либо цель в момент времени i . Решение такой задачи может выполняться средствами динамического программирования [2].

Структура подсистем организационной системы. Для обеспечения адекватности модели и достоверности результатов, получаемых с ее помощью, требуется определенного уровня формализация подсистем моделируемой системы (см. рис. 1). В данной статье формализация подсистем рассматривается пока на уровне подходов к возможной декомпозиции и описания существующими математическими или другими аппаратами.

Одной из основных задач построения модели является задача идентификации управляющих переменных, которые определяются управляющими воздействиями (см. рис. 1) и структурой управляемых элементов. Выделены три вида управляющих воздействий, каждый из которых может декомпозироваться (см. таблицу).

В общем случае функции структуры деятельности организационной системы количественно и качественно могут быть определены в соответствии с рис. 3, а структура организационных единиц – с рис. 4.

Структура информационного поля. Для описания структуры информационного поля предлагается выделять следующие категории информации: 1) показатели – количественные характеристики; 2) классификаторы – структурообразующие данные, состоящие из взаимосвязанных классов и их экземпляров; 3) фактографические данные – значения показателей в отношении одного или нескольких классификаторов. Для представления каждой

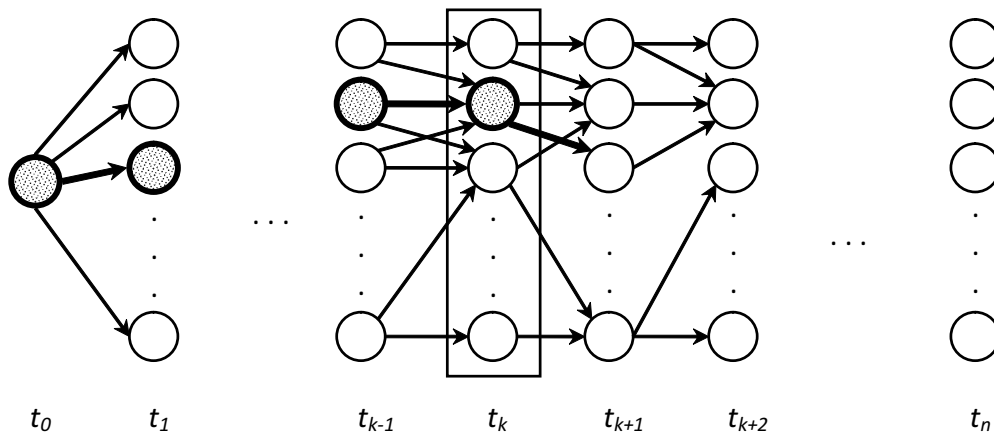


Рис. 2. Принцип динамической модели в дискретном пространстве одного показателя

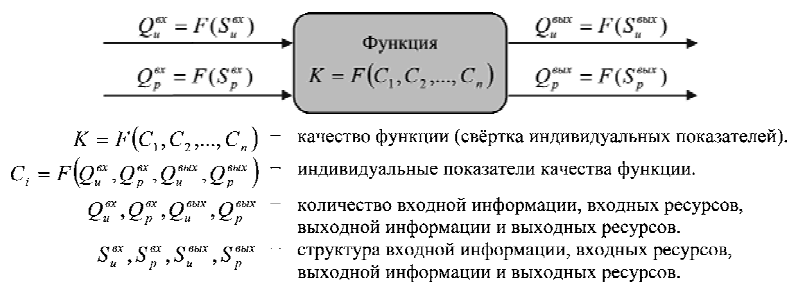


Рис. 3. Функция и формула оценки качества ее выполнения (п. 1.1.2 таблицы)

категории информации будем использовать соответствующее графовое описание.

Граф показателей состоит из двух частей, одна из которых – дерево (рис. 5), содержащее вершины-категории (классификация показателей), а другая – простой граф с

произвольным числом долей этого графа, вершины которого представляют собой показатели.

В части категорий ребра показывают (слева направо) разбиение категорий на подкатегории, а в части показателей ребра показывают (слева направо) разбиение агре-

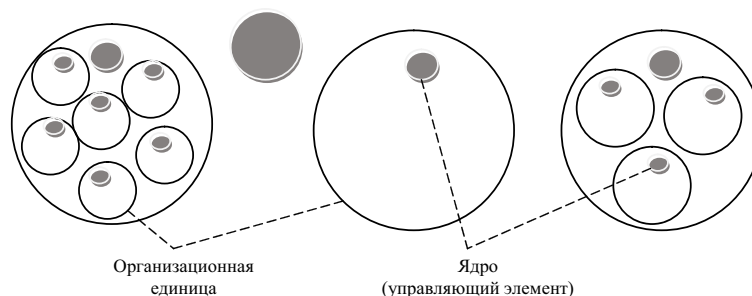


Рис. 4. Структура организационных единиц (п. 1.2.1 таблицы) в организационной системе

Структура управляющих воздействий

№	Воздействия	Описание
1	На структуру объекта	–
1.1	На структуру деятельности	–
1.1.1	На целеобразование	Все цели от стратегических до текущих описываются в виде дерева, в корне которого находится главная цель. Цели могут иметь количественные характеристики и соотноситься с показателями (п. 2.1). Например, к 2011 г. количество выпускаемой продукции в соответствии с номенклатурой должно увеличиться на 20 %
1.1.2	Формирование дерева функций в соответствии с целями	Для каждой функции определяется входная и выходная информация, входные и выходные ресурсы и критерии оценки качества функции (рис. 3)
1.1.3	Формирование бизнес-процессов	Формализованное дерево функций позволит разработать алгоритмы генерации цепочек бизнес-процессов, в основу которых могут лечь принципы тождественности входных и выходных структур информации и ресурсов
1.2	На организационную структуру	–
1.2.1	Создание, изменение и ликвидация организационных единиц	Самой простой организационной единицей может являться один человек или группа лиц с одним управляющим во главе (рис. 4). Из простых элементов может образовываться структура любой сложности. Организационные единицы охватывают и субъект, и объект управления. На уровне объекта находятся сами организационные единицы, а на уровне субъекта – ядра (управляющие элементы)
1.2.2	Формирование штатного расписания	Определение качественного состава организационных единиц (из каких должностей они должны состоять и какие требования предъявляются к кандидатам)
1.2.3	Определение условий поощрения и наказания	Формализуются зависимости от качества выполнения функций (п. 1.1.2)
1.3	На структуру услуг	–
1.3.1	Формирование структуры оказываемых услуг	Для каждого элемента могут задаваться количественные характеристики. Например, число бюджетных мест на специальности в вузе
1.3.2	Формирование структуры потока клиентов	Число клиентов, вид и объем услуги, которая будет оказана, время оказания услуги
1.4	На структуру финансовых потоков и материальных ресурсов	–
2	На информационное поле	Основная задача информационного поля состоит в накоплении информации и передачи её в нужные места в нужное время
2.1	На структуру информационного поля	В общем виде информационное поле может быть представлено динамическими структурами данных [3], в которых структура конкретного информационного объекта может меняться, а структура самого поля описывается графом фактографических данных (рис. 9)
2.2	На структуру доступа к информации	Для организационных единиц и должностей может устанавливаться собственная подструктура информации, необходимой для выполнения их функций. На основе этих подструктур могут формироваться потоки информации для подразделений, в том числе и в виде документооборота
3	На объект посредством проектов	Реализация проектов может использоваться как для увеличения эффективности текущей деятельности, так и для ускорения достижения заданных целей

гированных показателей на более частные до элементарных показателей (неделимых). Агрегированные показатели могут состоять не только из показателей предыдущего уровня (k), но и из показателей следующего уровня ($k+1$), через уровень ($k+2$) и т. д.

Граф классификаторов (рис. 6) состоит из трех уровней: 1) уровня категорий, предназначенного для разбиения классификаторов на укрупненные категории, т. е. описания структуры классификационного дерева; 2) уровня классификаторов, представляющего собой множество вершин (классификаторов) с ребрами между уровнем категорий, показывающими принадлежность каждого

классификатора к какой-либо категории и ребрами между вершинами классификаторов, показывающих связи между ними; сама вершина характеризуется не только ее наименованием, но и набором атрибутов; 3) уровня значений классификаторов, содержащего множество вершин, каждая из которых имеет одно обязательное ребро, показывающее принадлежность значения к какому-либо классификатору и несколько необязательных ребер, показывающих зависимость между значениями разных классификаторов.

Проведем аналогию графового представления структуры классификаторов с другими способами представ-

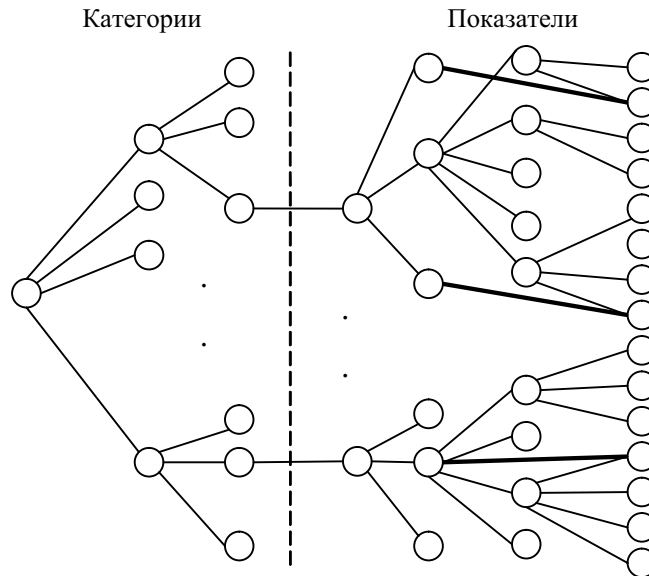


Рис. 5. Граф показателей

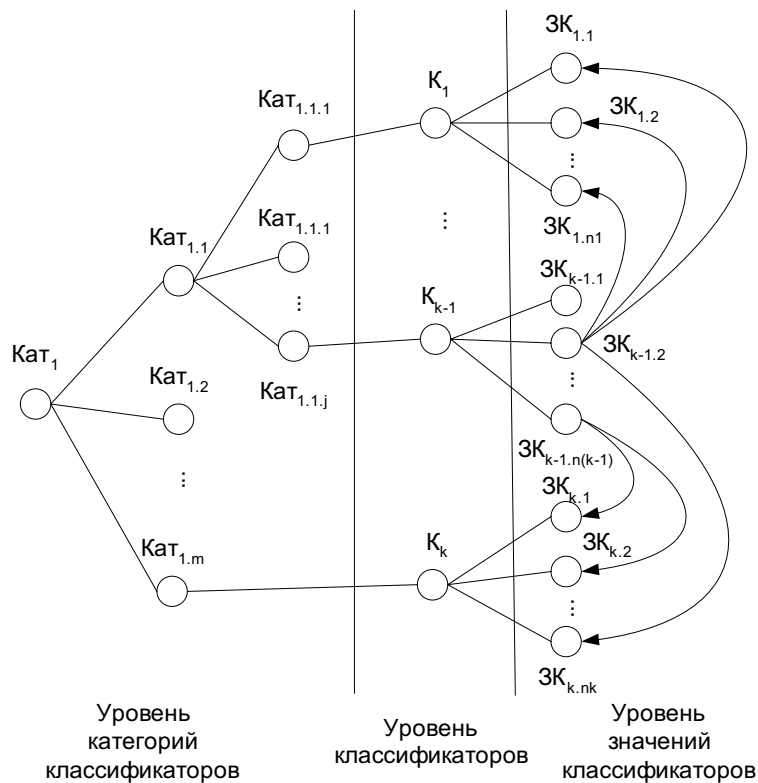


Рис. 6. Граф классификаторов: Кат – категория классификаторов; К – классификатор; ЗК – значение классификатора

ления данных, например с объектным (рис. 7). Рассмотрим в качестве примера структуру организационных единиц некоторой организационной системы и выделим две сущности в этом примере – управление и отдел. Графовая модель этого примера представлена на рис. 7, а, а объектная – на рис. 7, б.

Фактографические данные представляют собой граф с множеством вершин, не имеющих ребер между собой, но имеющих ребра с вершинами графов классификаторов и показателей (рис. 8). Вершины фактографических данных представляют собой числа, которые являются количественными характеристиками одного или нескольких показате-

лей в отношении с одним или несколькими классификаторами. Например, для показателя «зарплата» и значения классификатора «отдел 1.1», значение фактографического данного может равняться X рублей в год.

Таким образом, вершины фактографических данных, соединяясь с вершинами графов классификаторов и показателей, образуют граф со сложными взаимосвязями (рис. 9).

Над графом фактографических данных можно проводить аналитические операции с целью вычисления комплексных показателей. Например, для расчета суммарной годовой заработной платы в организационной еди-

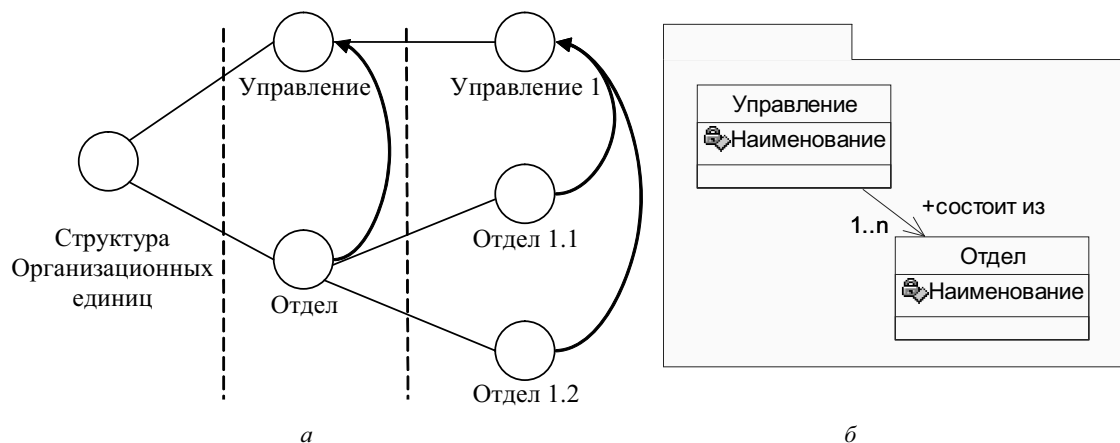


Рис. 7. Пример представления структуры информации в графовом и объектном видах: а – графовый вид; б – объектный вид

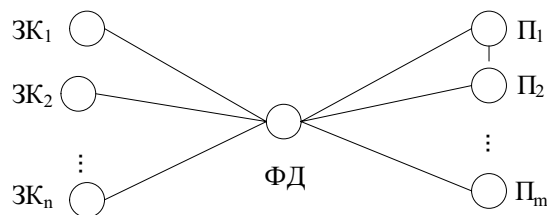


Рис. 8. Фрагмент графа фактографических данных: ЗК – значение классификатора; П – показатель; ФД – фактографическое данное

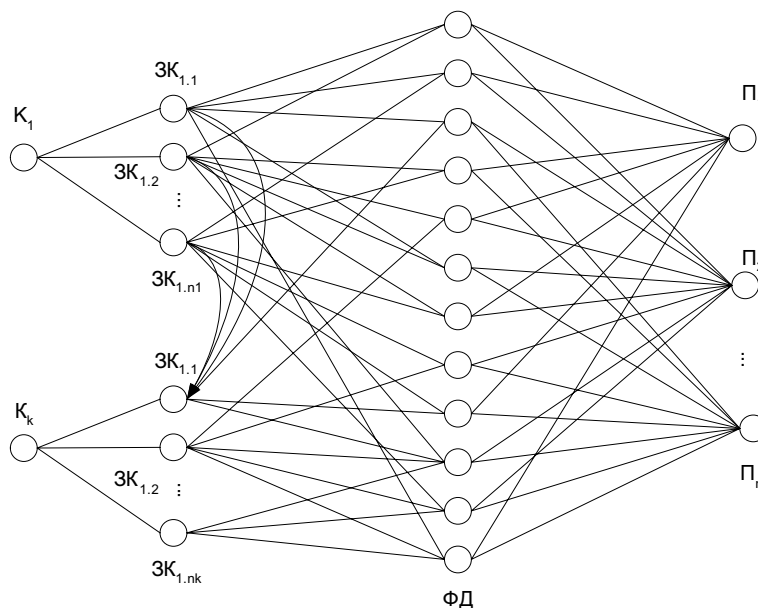


Рис. 9. Граф фактографических данных: К – классификатор; ЗК – значение классификатора; П – показатель; ФД – фактографическое данное

нице «управление 1» нужно просуммировать значения фактографических данных, у которых есть связи с вершинами, представляющими отделы этого управления, и вершиной показателя «заработная плата».

Таким образом, предложен подход к моделированию организационных систем, предусматривающий описание динамики состояний системы в зависимости от управляющих воздействий на ее структуру, в том числе на структуру информационного поля. Такой подход снимает проблему сложности моделирования организационных систем на базе совокупности взаимодействий элементов систем. При этом предлагаемая структура информационного поля позволяет описывать информацию в виде, удобном для представления простых показателей и последующего вычисления комплексных. Такая структура является обобщением для одних известных подходов хра-

нения и обработки информации (реляционного, объектного представления) и аналогом для других (иерархических, сетевых структур), но со специфическими для данной задачи особенностями.

Библиографические ссылки

1. Новиков Д. А. Структура теории управления социально-экономическими системами // Управление большими системами : сб. тр. / Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. 2009. № 24. С. 216–257.
2. Bellman R. On a Routing Problem // Quarterly of Applied Mathematics. 1958. Vol. 16. №. 1. P. 87–90.
3. Якунин Ю. Ю., Городилов А. А. Алгоритмы расчета комплексных показателей в динамических структурах представления данных // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2010. Вып. 1(27). С. 59–63.

V. M. Zhuravlev, Yu. Yu. Yakunin

SYSTEM APPROACH TO MODELING OF ORGANIZATIONS

In the article we consider an approach to modeling of organizational systems based on description of system states dynamics according to influence of control actions on its structure, including the structure of the information field, and present the general principle of decomposition of organizational systems.

Keywords: control, organizational system, modeling.

© Журавлев В. М., Якунин Ю. Ю., 2010

УДК 681.3.082.5

Н. В. Мерзликина, Д. И. Морозов, Н. А. Колбасина, В. А. Титов

ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТОРЦЕВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ МАТЕРИАЛОВ*

Описана методика автоматизированного построения трехмерной параметрической модели передачи торцевого зацепления, предназначенная для исследования характеристик измельчителя.

Ключевые слова: зубчатые зацепления, цилиндрическая передача торцевого зацепления, автоматизированное моделирование, измельчитель сырья и материалов.

В настоящее время создание твердотельной модели проектируемой передачи является необходимым условием обеспечения эффективности ее работы.

Особое внимание уделяется оптимизации параметров на изготовление зубчатой передачи торцевого зацепления как основного рабочего органа измельчителя [1]. Автоматизированное создание твердотельной модели передачи, позволяющей варьировать ее геометрические параметры, актуально и открывает широкие возможности для дальнейшего анализа качественных характеристик передачи.

Для реализации автоматизированного параметризованного построения передачи была выбрана среда

SolidWorks [2; 3]. Этот инструментальный позволяет реализовывать гибридное параметрическое моделирование, проектирование деталей, экспресс-анализ (массово-инерционные характеристики, анализ прочности и кинематики), вносить любые изменения в модель на любом этапе проектирования, проводить проверку на наличие коллизий сборки (интерференции, зазоров и т. д.), проводить анализ напряженно-деформированного состояния деталей, автоматически создавать чертежи по нормам ЕСКД и вносить в них изменения.

Разработка модуля параметризованного построения зубчатой торцевой передачи осуществлялась в про-

*Работа проводилась при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский фонд поддержки научной и научно-инновационной деятельности».

граммном продукте CodeGear не ниже 2009 г., с помощью ActiveX-технологий.

При создании твердотельной модели использовались следующие разделы инженерной и компьютерной графики: компьютерная графика, моделирование тела выдавливанием из плоскости, вращением вокруг оси, выдавливанием по сечениям и по траектории, создание сопряжений компонентов сборки.

Рабочий орган измельчителя – зубчатая передача торцевого зацепления, с сопряженными профилями зубьев колеса и шестерни (рис. 1).

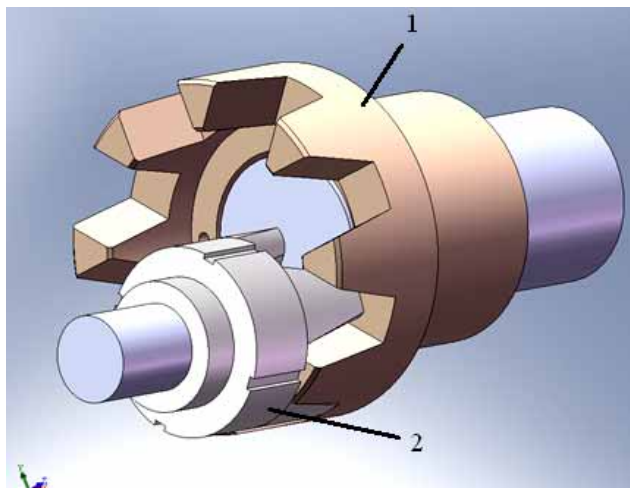


Рис. 1. Зубчатая передача торцевого зацепления, общий вид

Процесс создания моделей шестерни и колеса включает несколько этапов.

На первом этапе создается эскиз и тело заготовки, далее – эскиз основания зуба на плоскости заготовки (рис. 2), причем параметризация в SolidWorks требует после построения эскиза задать взаимосвязи и размеры так, чтобы эскиз оказался полностью определенным (команды AddDimension, которая добавляет размер в эскизе и SketchAddConstraints для добавления взаимосвязей в эскизе между выделенными объектами). Эскиз строится с помощью оси симметрии (команда Constraction-Geometry, которая преобразует выделенный объект в справочную геометрию), сплайна по заданным точкам (команда CreateSpline, которая создает сплайн по заданному массиву координат точек) и прямой линии (команда ICreateLine2, которая создает прямую сплошную линию, в передаваемых параметрах координаты начальной и конечной точек).

Путем зеркального отражения получается вторая половина эскиза, и после замыкания дугами окружностей (команда FeatureRevolve – создание повернутой бобышки вокруг оси), создается твердотельная модель операцией вытягивания (команда FeatureExtrusion2 – создание вытянутой бобышки по текущему эскизу).

Параметризация выполняется согласно математическому описанию профилей шестерни и колеса, изложенному в [4].

Далее строится эскиз заготовки шестерни. Для этого применяется команда «Повернутая бобышка/основание», с помощью которой полученный эскиз проворачивается и получается твердотельная заготовка шестерни.

Затем изображается профиль зуба шестерни с помощью команды «Сплайн», с использованием полученных по математической модели координат точек профиля зуба.

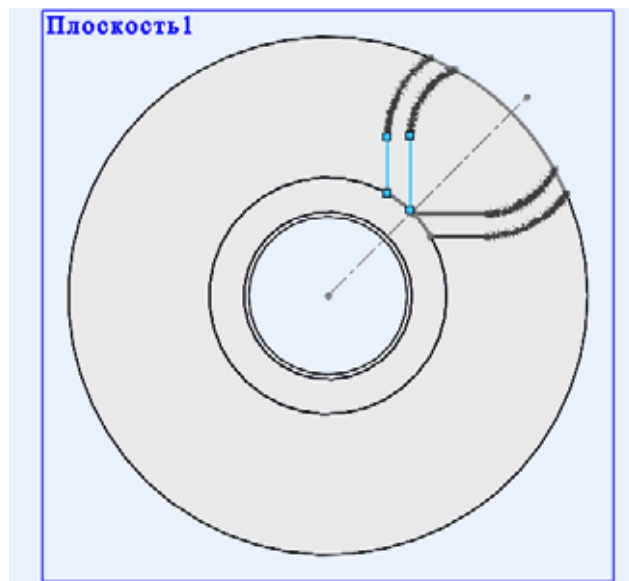


Рис. 2. Эскиз зуба шестерни

На следующем этапе производится вытягивание зуба, с использованием команды «Вытянутая бобышка/основание», затем с помощью команды CirclePattern2, которая служит для создания кругового массива элементов вокруг выбранной оси или выбранной цилиндрической поверхности, формируется необходимое количество зубьев и тем самым завершается построение шестерни (рис. 3).

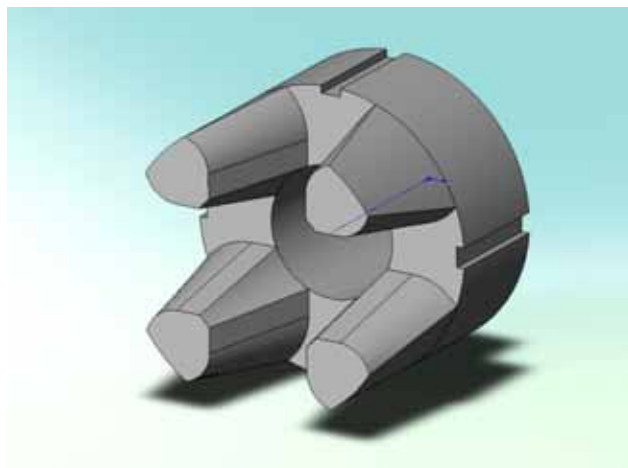


Рис. 3. Шестерня зубчатой передачи торцевого зацепления

При построении модели колеса необходимо пройти те же этапы: от построения эскиза (рис. 4) до получения твердотельной модели детали (рис. 5).

Алгоритм работы программы представлен на рис. 6, интерфейс программы параметрического построения торцевой зубчатой передачи – на рис. 7. Входными параметрами программы являются параметры построения колеса (диаметры впадины, делительный и вершины; число зубьев), параметры построения шестерни (диаметры впадины, делительный и вершины; число зубьев), общие параметры построения (высота зуба и угол наклона профиля зуба).

Пользователю предоставляется выбор: либо просмотреть полученную деталь, либо сохранить деталь без просмотра, используя расширение SLDPRT.

В итоге, в зависимости от выбора пользователя, мы имеем либо файл сохраненной детали, либо твердотельную модель детали, построенную в SolidWorks в версии не ранее 2008 г. Далее происходит синтез деталей в передачу (см. рис. 1).

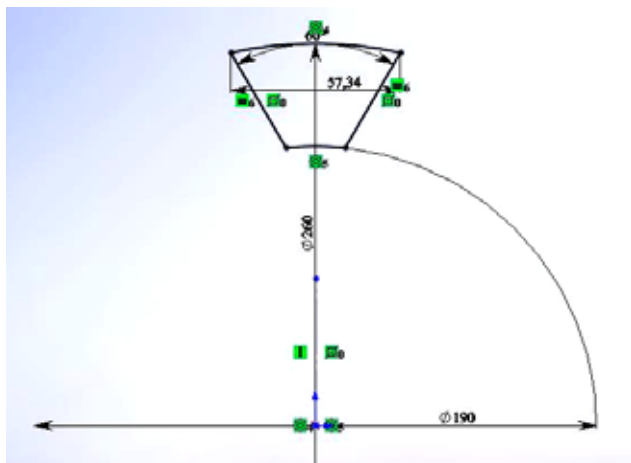


Рис. 4. Эскиз заготовки колеса

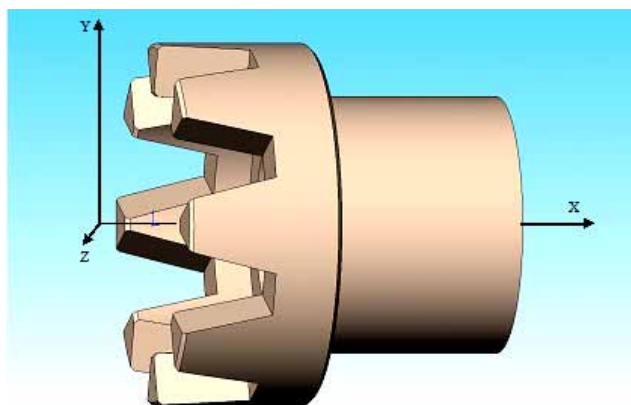


Рис. 5. Колесо зубчатой передачи торцевого зацепления

Разработанный программный модуль позволяет осуществлять автоматическое построение передачи с варьируемыми геометрическими параметрами, такими как количество зубьев, угол наклона профиля зуба, диаметры впадин, вершин колеса и шестерни и т. д. В таблице приведены параметры конкретной торцевой зубчатой передачи. Зацепление, построенное с помощью описанного выше программного продукта, показано на рис. 8.

Применение разработанного программного продукта для параметрического построения твердотельной модели передачи в пакете SolidWork позволило уже на этапе проектирования провести необходимые проверки качественных характеристик передачи (в частности, была проведена проверка на наличие интерференции), упростить многие расчеты (например, определение объема рабочей области) и автоматизировать процесс получения конструкторской документации.

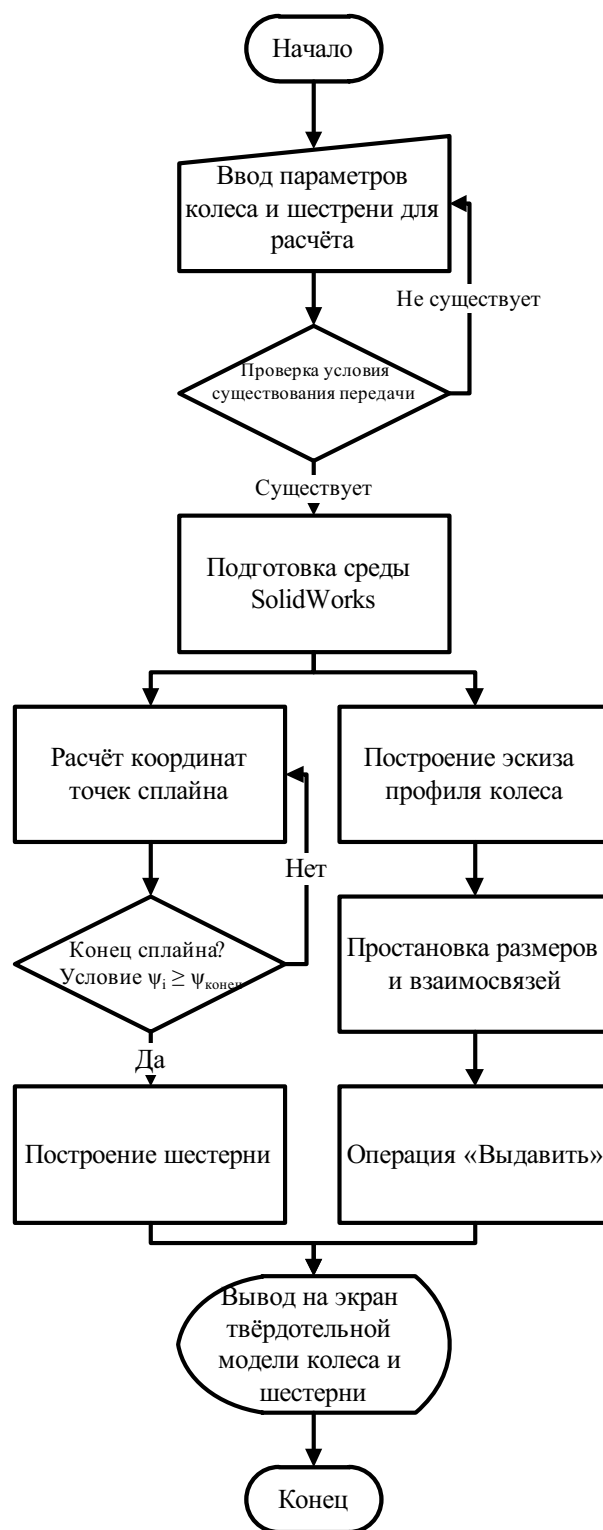


Рис. 6. Алгоритм программы параметрического построения передачи

Библиографические ссылки

1. Использование возможностей торцевой зубчатой передачи для измельчения материалов / В. А. Титов, В. С. Секацкий, Н. А. Колбасина, Н. В. Мерзликина // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2009. № 4. С. 99–115.
2. SolidWorks API Help [Electronic resource] // SolidWorks Corporation. 2006. URL: <http://>

www.solidworks.com/sw/support/APIDownloads.html (дата обращения: 10.12.2010).

3. Дударева Н. А., Загайко С. И. SolidWorks 2009 на примерах. СПб. : БХВ-Петербург, 2009.

4. Колбасина Н. А., Мерзликина Н. В., Титов В. А. Современный подход к проектированию торцевых зубчатых передач и измельчителей материалов на их основе // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2010. № 2. С. 134–136.

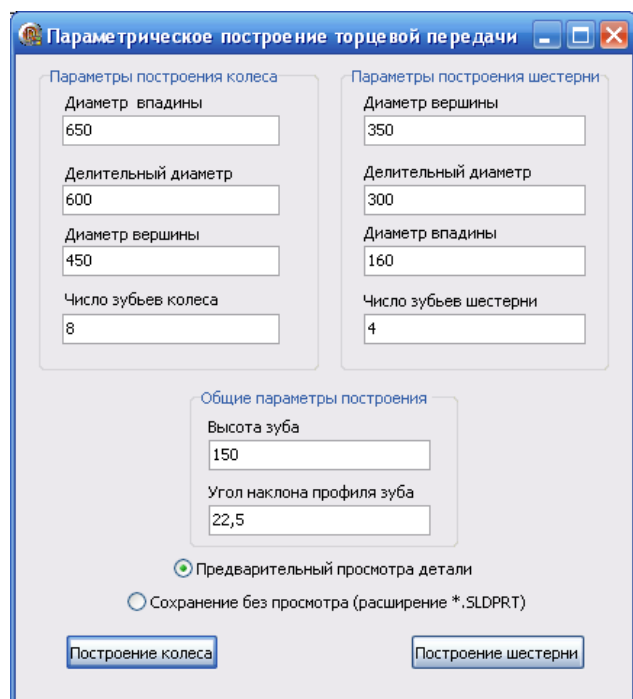


Рис. 7. Интерфейс программы

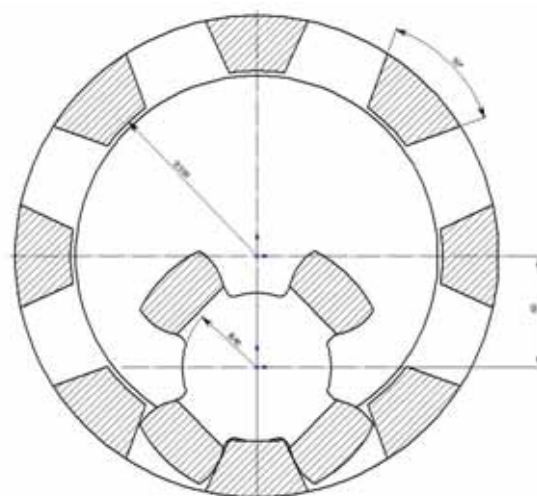


Рис. 8. Зацепление с параметрами: диаметр впадины шестерни 80 мм, диаметр вершины зуба колеса 200 мм, угол наклона профиля зуба 50°

Параметры передачи по вариантам

Параметр	Значение параметра
Диаметр впадины колеса	260 мм
Делительный диаметр колеса	240 мм
Диаметр вершины колеса	200 мм
Угол наклона профиля зуба колеса	50°
Высота зуба колеса	30 мм
Число зубьев колеса	8
Диаметр вершины шестерни	140 мм
Делительный диаметр шестерни	120 мм
Диаметр впадины шестерни	80 мм
Высота зуба шестерни	30 мм
Число зубьев шестерни	4

N. V. Merzlikina, D. I. Morozov, N. A. Kolbasina, V. A. Titov

DEVELOPMENT OF A THREE-DIMENSIONAL PARAMETRIC MODEL OF END GEAR FOR ROW MATERIAL CRUSHER

This paper develops methods for automated kinematic modeling and analysis of frontal gear train. Performances of the gear are investigated.

Keywords: gear train, cylindrical transfer of cogged gearing, automated modeling, raw material crusher.

© Мерзликина Н. В., Морозов Д. И., Колбасина Н. А., Титов В. А., 2010

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ НАГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА*

Проведено моделирование и исследование нагрузочного устройства для электрических испытаний систем электропитания космических аппаратов с рекуперацией электроэнергии в сеть постоянного тока.

Ключевые слова: энергосбережение, нагрузочное устройство, рекуперация.

Для электрических испытаний систем электропитания космических аппаратов, в частности вторичных источников электропитания (ВИЭП), используются нагрузочные устройства (НУ), задачей которых является имитация требуемых режимов электронагружения ВИЭП. По типу применяемого нагрузочного элемента НУ можно разделить на резистивные и транзисторные. По способу утилизации энергии НУ можно разделить на тепловые, со сбросом тепла в окружающую среду (тип Т), и рекуперационные, с частичным возвратом электроэнергии в сеть переменного или постоянного тока (тип Р). Резистивные НУ относительно просты, допускают высокую температуру нагрева нагрузочных элементов, что позволяет обеспечить хорошие массогабаритные характеристики. Основными недостатками их является плохая управляемость, что не позволяет реализовать многие режимы испытаний, и отсутствие энергосбережения из-за принадлежности к типу Т. Транзисторные НУ, работающие в непрерывном режиме, хорошо управляются, позволяют воспроизводить динамические характеристики реальных потребителей, но, вследствие ограничений на температуру транзисторов, имеют плохие массогабаритные характеристики; транзисторные НУ также принадлежат типу Т.

Известны НУ [1], в которых энергия ВИЭП рекуперирована в сеть переменного тока. Такие НУ позволяют реализовать различные режимы испытаний, обладают относительно высоким коэффициентом рекуперации. Существенным недостатком таких НУ является необходимость согласования параметров выходного напряжения рекуператора с параметрами сети и, как следствие, сложность и высокая стоимость.

Существует большой ряд ВИЭП, содержащих первичный источник электропитания (ПИЭП) с выходом на постоянном токе. Известно НУ с рекуперацией энергии в сеть постоянного тока [2], в котором выходное напряжение НУ суммируется с напряжением сети, питающей ВИЭП. В таком НУ возникает необходимость в дополнительном импульсном преобразователе (ИП), стабилизирующем напряжение питания ВИЭП, что усложняет устройство и отрицательно сказывается на массогабаритных характеристиках.

Авторами предлагается НУ с рекуперацией энергии в сеть постоянного тока с параллельным подключением выхода НУ к сети. В этом случае можно существенно улучшить массогабаритные характеристики и уменьшить энергопотребление от ПИЭП.

Возможная структура такого НУ приведена на рис. 1.

Согласно структурной схеме, ПИЭП питает постоянным напряжением ВИЭП, датчик тока ДТ измеряет ток, потребляемый НУ, импульсный модулятор ИМ формирует закон управления ИП, фильтры Φ_1 и Φ_2 осуществляют фильтрацию тока $I_{\text{НУ}}$ и $I_{\text{рек}}$ соответственно. Гальванически развязанный выход ИП включен параллельно с выходом ПИЭП.

ИП работает в режиме стабилизации тока $I_{\text{НУ}}$, потребляемого НУ от ВИЭП. Напряжение, пропорциональное данному току $I_{\text{НУ}}$, с датчика тока ДТ, сравнивается в сумматоре с напряжением $U_{\text{оп}}$, которое пропорционально требуемому току нагрузки, затем сигнал рассогласования ε_r , пропорциональный отклонению действующего тока нагрузки от требуемого, усиливается усилителем напряжения УН и поступает на вход управления ИП. В ИП входная электроэнергия одного уровня напряжения преобразуется в электроэнергию уровня напряжения, требуемого для рекуперации в ВИЭП, минуя ПИЭП.

Можно показать, что мощность, потребляемая от ПИЭП в установившемся режиме, составляет

$$P_{\text{ПИЭП}} = P_{\text{НУ}} \left(\frac{1}{\eta_2} - K_p \right), \quad (1)$$

где $P_{\text{ПИЭП}}$ – мощность, отдаваемая ПИЭП; $P_{\text{НУ}}$ – мощность, потребляемая НУ; η_2 – КПД ВИЭП, K_p – коэффициент рекуперации, т. е. отношение возвращаемой (рекуперированной) мощности НУ к потребляемой:

$$K_p = \frac{P_{\text{рек}}}{P_{\text{НУ}}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{рек}}$ – возвращаемая (рекуперированная) мощность НУ; $P_{\text{НУ}}$ – входная мощность НУ.

Из выражения (1) видно, что применение НУ с рекуперацией энергии в сеть постоянного тока позволяет снизить мощность, потребляемую от ПИЭП.

Основной подсистемой НУ является ИП с гальванической развязкой. В настоящее время существует множество различных типов импульсных преобразователей, однако в силовой электронике мощные ИП с гальванической развязкой выполняются, как правило, по мостовой схеме, что существенно сокращает область поиска при выборе типа ИП. Проведем сравнительный анализ нескольких типов ИП (см. таблицу).

Преобразователь с ШИМ не обладает «мягким» переключением ключей, т. е. переключением при нулевом

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

напряжении на ключе или нулевом токе через ключ, что обуславливает высокий уровень импульсных помех и динамические потери на ключах.

В преобразователе с резонансным контуром коэффициент формы тока через ключи не равен единице, а это значит, что при одной и той же мощности преобразователя с ШИМ и преобразователя с резонансным контуром в последнем максимальное значение тока через ключ будет выше, следовательно, и потери будут больше. Кроме того, возникает необходимость применения ключей с большим максимальным током.

В преобразователе с фазовым управлением ток через ключ имеет прямоугольную форму, и в то же время обеспечивается мягкое переключение ключей. Поэтому в данном случае целесообразно применять ИП с фазовым управлением. Принцип работы преобразователя с фазовым управлением описан в [1].

Выравнивание напряжения ИП и ПИЭП достигается следующим образом. Напряжение холостого хода на выходе ИП несколько превышает напряжение ПИЭП, но так как коэффициент рекуперации K_p меньше единицы, диод VD1 на структурной схеме (см. рис. 1) в установившемся режиме всегда будет открыт, следовательно, напряжение на выходе ИП не будет превышать напряжения ПИЭП с учетом падения напряжения на диодах.

Моделирование НУ проведено в пакете Micro-CAP (рис. 2). Схемы эксперимента и силовой части НУ показаны на рис. 3.

В системе управления НУ (см. рис. 2) для формирования и усиления сигнала рассогласования на основе сравнения опорного напряжения V2 и напряжения обратной связи (ОС) V1 применен операционный усилитель (ОУ) DA1. Корректирующее устройство (КУ) R1, R3, C1, C2 служит для обеспечения устойчивости замкнутого контура при максимальном быстродействии. Элементы DA2, DD1–DD17, R6–R9, C3–C6 образуют ФИМ, который формирует закон управления ключами НУ VT1–VT4 (см. рис. 3). В качестве ПИЭП применен источник напряжения V9. Элементы R14, R20, R21, L1, L3, L4 имитируют импеданс соединительных линий. В ВИЭП для формирования и усиления сигнала рассогласования используется ОУ DA3, ШИМ выполнен на компараторе DA4 и генераторе пилообразного напряжения V12 и управляет ключом S1. Элементы L2, C10 образуют выходной фильтр ВИЭП, необходимый для выделения постоянной составляющей в выходном сигнале. Элемент C7 и сопротивление соединительных линий образуют входной фильтр ВИЭП, снижающий пульсации входного тока. В НУ ключи VT1–VT4 образуют мост, к одной диагонали которого подключен выход ВИЭП, а к другой – гальванически развязывающий выходной трансформатор T1. Емкости C11, C12, C16, C17 ограничивают скорость нарастания напряжения сток-исток на транзисторах VT1–VT4 при выключении. Входной фильтр НУ образован емкостью C13 и сопротивлением линии R21. Диодный мост VD5, VD6, VD9, VD10 выпрямляет напряжение вторичной обмотки

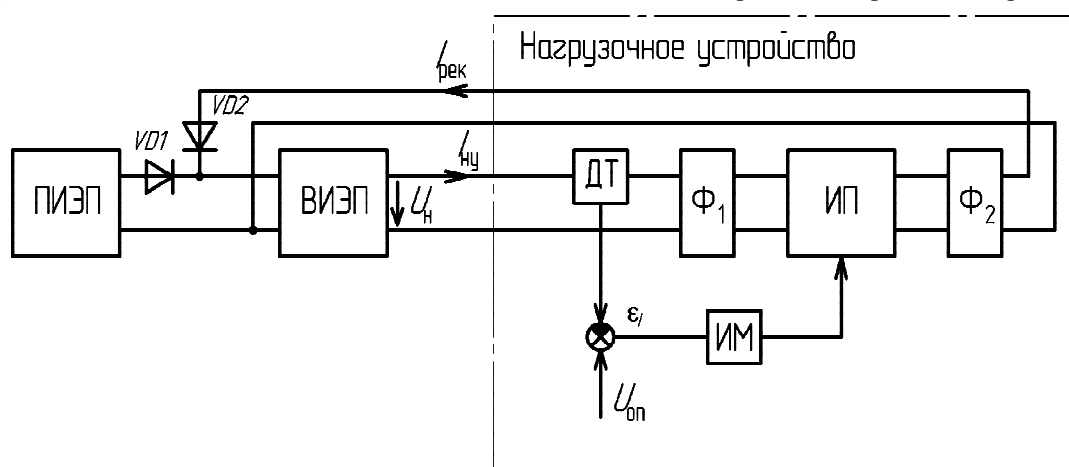


Рис. 1. Структурная схема НУ с рекуперацией в сеть постоянного тока: ПИЭП – первичный источник электропитания; ВИЭП – вторичный источник электропитания; ДТ – датчик тока; ИП – импульсный преобразователь; Φ_1 – входной фильтр; Φ_2 – выходной фильтр; ИМ – импульсный модулятор; $U_{оп}$ – опорное напряжение, пропорциональное току нагрузки; U_n – напряжение нагрузки; $I_{нУ}$ – ток нагрузочного устройства; $I_{рек}$ – ток рекуперации; ϵ_i – сигнал рассогласования

Сравнительный анализ импульсных преобразователей

Тип преобразователя	Мягкое переключение ключей	Коэффициент формы тока через ключи	Контролирующий параметр
Преобразователь с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) [3]	Нет	1	Коэффициент заполнения γ
Преобразователь с резонансным контуром [1]	Да	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	Частота f
Преобразователь с фазовым управлением [1]	Да	1	Фаза ϕ

трансформатора Т1, а фильтр L6, C20 выделяет постоянную составляющую.

Для составления функциональной схемы запишем уравнения согласно структурной и электрической схемам (рис. 1–3):

$$I_{\text{HY}}(s) = \varepsilon_I W_{\text{YC}}(s) W_{\text{KY}}(s) W_{\text{ФИМ}}(s) W_{\text{ИКЛ}}(s) W_{\Phi}(s), \quad (3)$$

$$\varepsilon_I(s) = U_{\text{оп}} - I_{\text{н}}(s)K_{\text{дт}}, \quad (4)$$

где $W_{yc}(s) = \frac{K_{yc}}{T_{yc} \cdot s + 1}$ – передаточная функция (ПФ) уси-

$$\text{лителя-сумматора (УС); } W_{\text{КУ}}(s) = \frac{(T_2 \cdot s + 1)(T_3 \cdot s + 1)}{(T_1 \cdot s + 1)(T_4 \cdot s + 1)} -$$

$$\text{ПФ КУ; } W_{\text{ФИМ}}(s) = K_{\text{ФИМ}} = \frac{1}{U_{\text{ПН}}} \quad - \quad \text{ПФ ФИМ;}$$

$$W_{\text{Кл}}(s) = K_{\text{тр}} \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{вх}}^{VIЭП}} \cdot \frac{R_{\text{вх}}^{VIЭП} Cs + 1}{LCs^2 + \frac{L}{R^{VIЭП}} s + 1} - \text{ПФ ИП по току}$$

ключа; $W_{\Phi}(s) = \frac{1}{R_{\text{л}} C_{\Phi} s + 1}$ – ПФ входного фильтра; $K_{\text{дт}}$ – коэффициент датчика тока.

Функциональная схема входной части НУ приведена на рис. 4.

Запишем ПФ разомкнутого контура без коррекции:

$$W_{PK}(s) = W_{YC}(s)W_{ФИМ}(s)W_{I_{KЛ}}(s)W_{\Phi}(s)K_{ДТ}. \quad (5)$$

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика нескорректированного разомкнутого контура (ЛАХ)

$$L_{\text{PK}}(\omega) = 20 \log(|W_{\text{PK}}(j\omega)|), \quad (6)$$

и фазовая частотная характеристика (ФЧХ)

$$\varphi_{\text{PK}}(\omega) = \arg(W_{\text{PK}}(j\omega)), \quad (7)$$

представлены на рис. 5.

Запас по фазе в нескорректированной системе равен 31е, по амплитуде – 10,2 дБ. Для увеличения запасов устойчивости введем корректирующее звено, тогда ПФ скорректированного разомкнутого контура запишется как

$$W_{\text{CK}}(s) = W_{\text{YC}}(s)W_{\text{KY}}(s)W_{\text{ФИМ}}(s)W_{\text{ЛКЛ}}(s)W_{\text{Ф}}(s)K_{\text{ЛТ}}. \quad (8)$$

Для сравнения на том же рис. 5 представлены ЛАХ и ФЧХ скорректированного разомкнутого контура:

$$L_{\text{CK}}(\omega) = 20 \log(|W_{\text{CK}}(j\omega)|), \quad (9)$$

$$\varphi_{\text{CK}}(\omega) = \arg(W_{\text{CK}}(j\omega)). \quad (10)$$

Запас по фазе составляет 104° , по амплитуде – 22,8 дБ, частота среза 1,1 кГц.

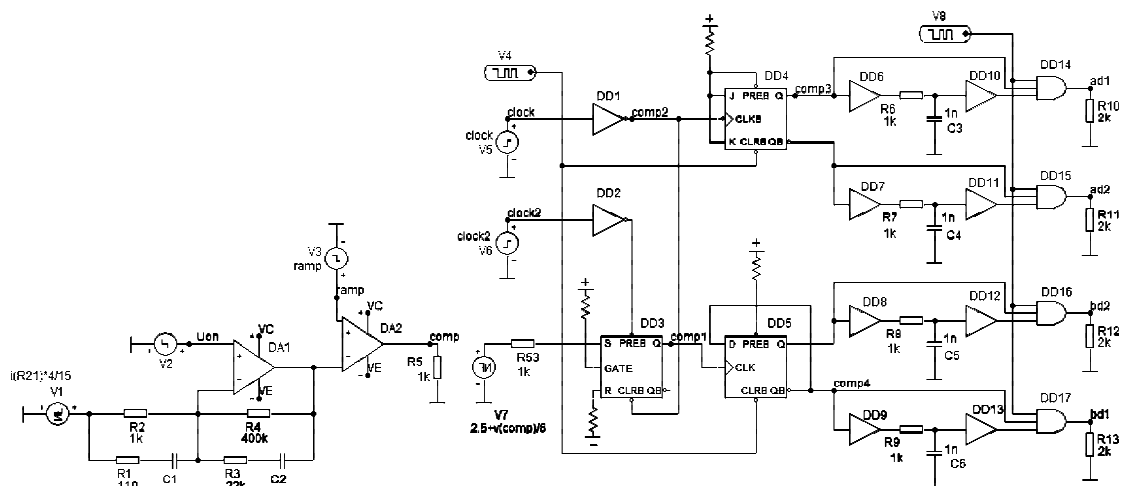


Рис. 2. Модель схемы управления НУ

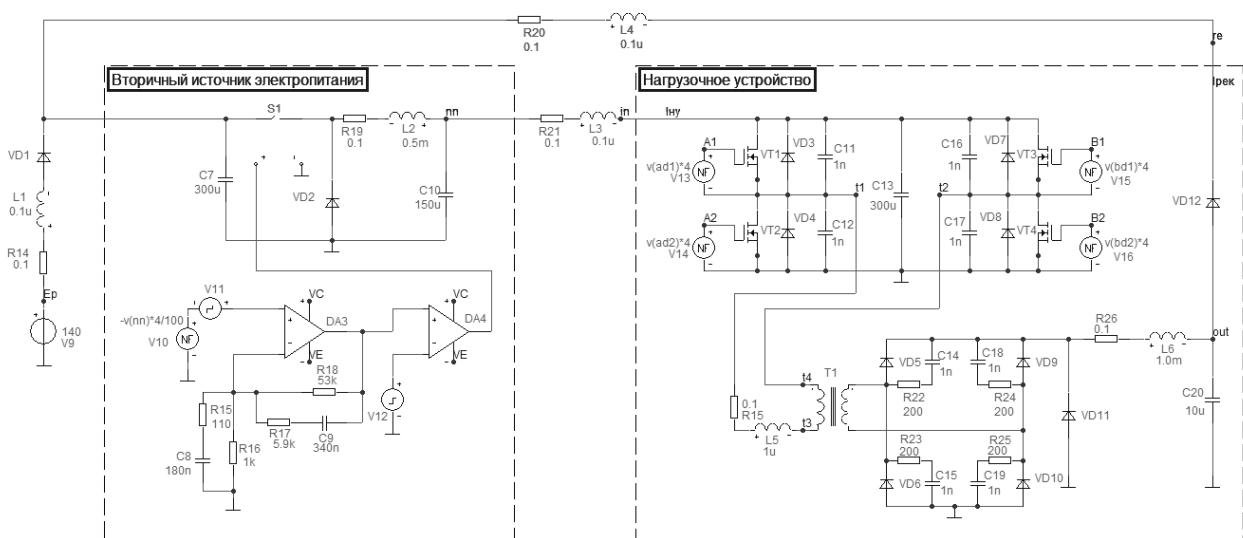


Рис. 3. Схемы эксперимента и силовой части НУ

Переходной процесс по току НУ при изменении опорного напряжения показан на рис. 6. Опорное напряжение изменяется скачком в моменты времени 6,0 мс и 10,0 мс. Ток нагрузки до момента времени 6,0 мс и после момента времени 10,0 мс равен 3 А, между моментами времени 6,0 мс и 10,0 мс ток нагрузки равен 15 А. Длительность переходного процесса по фронту составляет 280 мкс, по срезу – 250 мкс.

Перерегулирование составляет не более 3,5 %. Длительность переходного процесса определяется частотой среза на ЛАХ (см. рис. 5), частота среза в свою очередь обуславливается постоянной времени сглаживающего фильтра, зависящей от частоты коммутации ключей.

Об эффективности НУ можно судить по коэффициенту рекуперации. Для нахождения значения коэффициента рекуперации НУ была снята по точкам рекуперации

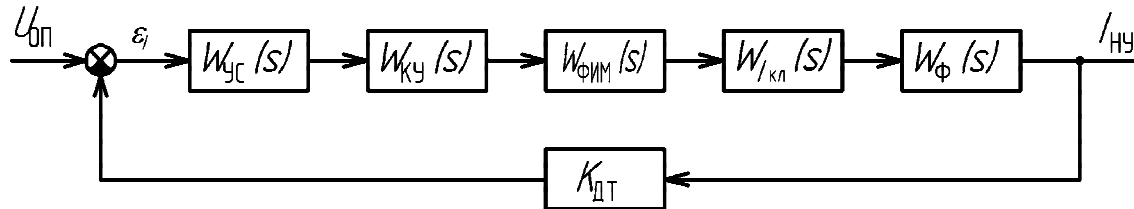


Рис. 4. Функциональная схема НУ с рекуперацией энергии в сеть постоянного тока: $W_{ус}(s)$ – ПФ усилителя-сумматора; $W_{кч}(s)$ – ПФ корректирующего усилителя; $W_{фим}(s)$ – ПФ фазоимпульсного модулятора; $W_{кл}(s)$ – ПФ ИП по току ключа; $W_{ф}(s)$ – ПФ входного фильтра; $K_{дт}$ – коэффициент датчика тока; $I_{НУ}$ – ток нагрузочного устройства; $U_{оп}$ – опорное напряжение, пропорциональное току нагрузки; ϵ_i – сигнал рассогласования

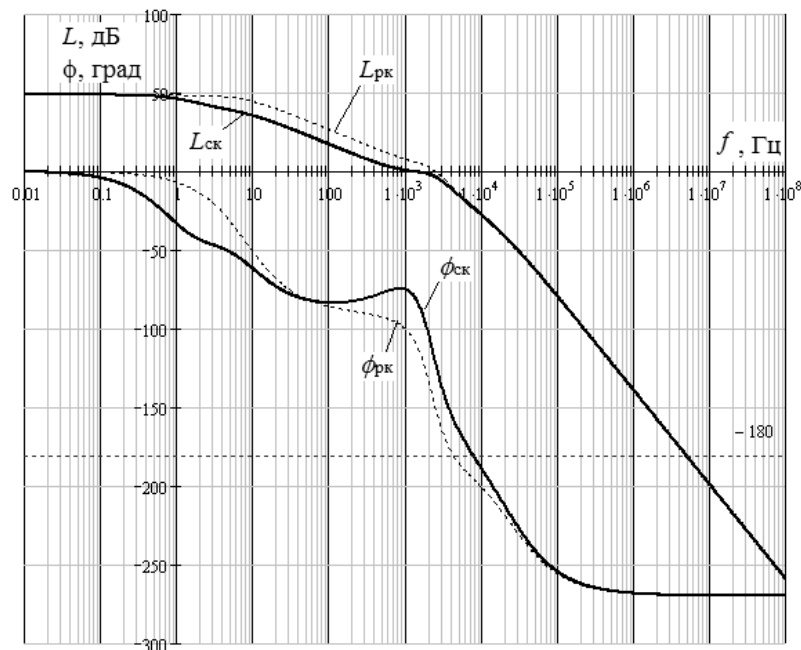


Рис. 5. ЛАХ и ФЧХ НУ с рекуперацией энергии в сеть постоянного тока

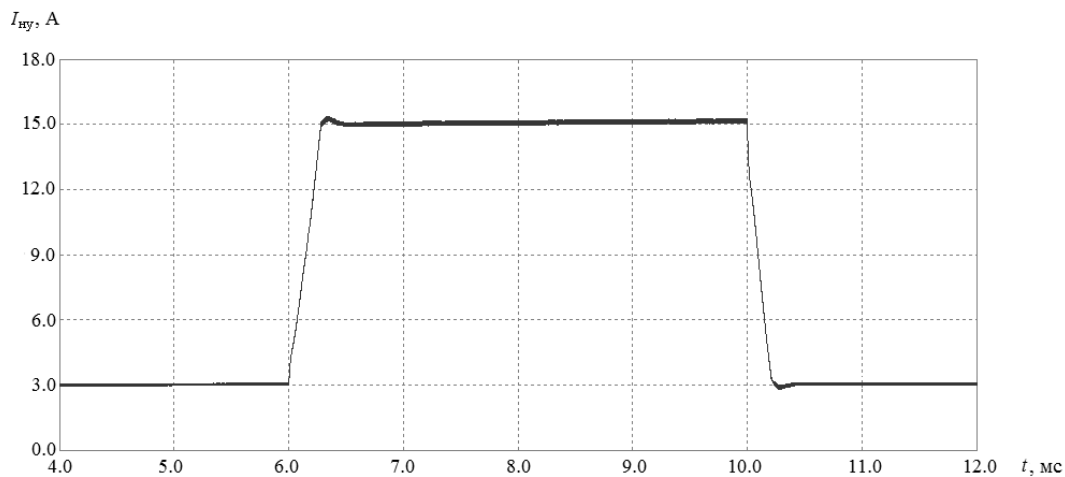


Рис. 6. Переходной процесс в режиме стабилизации требуемого тока нагрузки

онная характеристика НУ (рис. 7). Коэффициент рекуперации составил 85 % и почти линейно зависит от мощности $P_{НУ}$, потребляемой НУ.

Сравним потребляемую $P_{НУ}$ и рекуперированную $P_{рек}$ мощности НУ (рис. 7) с мощностью $P_{ПИЭП}$, потребляемой от ПИЭП при коммутации тока НУ (см. рис. 6). Сравнение показывает, что мощность, потребляемая от ПИЭП, значительно меньше мощности, выделяемой на нагрузке.

Так как рекуперированная энергия возвращается сразу в ВИЭП, минуя ПИЭП, от последнего потребляется только энергия, необходимая для компенсации потерь в имитаторе нагрузки и ВИЭП (1). Например, при требуемой нагрузке в 1,5 кВт, коэффициенте рекуперации 85 % и КПД вторичного источника 80 % от ПИЭП в установившемся режиме потребляется мощность 600 Вт.

Таким образом, разработанная структура НУ позволяет существенно понизить потребление мощности от ПИЭП и решает проблему утилизации энергии НУ.

Библиографические ссылки

1. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника. М. : Техносфера, 2005.
2. Устройство для испытания энергосистем постоянного тока : пат. 2187192 Рос. Федерация : МПК⁷ H02M3/07, H02M3/10 / Е. А. Мизрах, А. В. Лоншаков ; заявитель и патентообладатель Сиб. аэрокосмич. акад. № 99114746/09 ; заявл. 07.07.99 ; опубл. 20.05.01. 4 с. : ил.
3. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000.
4. Разевиг В. Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-CAP 7. М. : Горячая линия – Телеком, 2003.

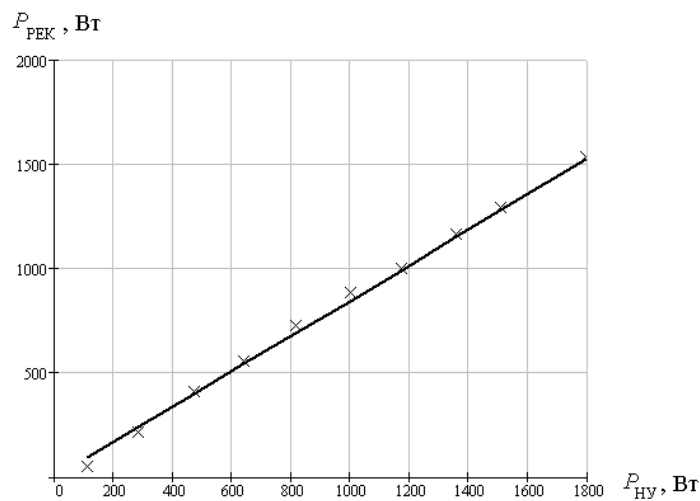


Рис. 7. Рекуперационная характеристика НУ

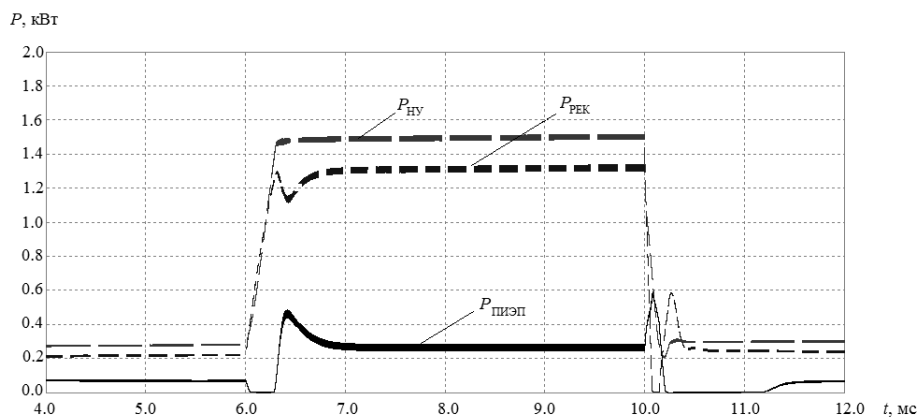


Рис. 8. Графики изменения мощностей $P_{ПИЭП}$, $P_{ну}$ и $P_{рек}$ при коммутации тока НУ

Е. А. Mizrakh, D. K. Lobanov

ENERGY-SAVING DC LOAD FOR DC POWER SUPPLY SYSTEMS TESTING

Result of simulation and research of DC loading device for electric testing of power supply systems of spacecrafts with energy recuperation into DC network is presented in this paper.

Keywords: energy-saving, loading device, recuperation.

© Мизрах Е. А., Лобанов Д. К., 2010

С. П. Панько, А. В. Мишуков

ФИЛЬТРАЦИЯ ДРЕЙФА ИЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРИ КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ*

Рассматриваются способы и методы фильтрации помехи в виде дрейфа изоэлектрической линии электрокардиосигнала при автоматическом контроле деятельности сердца.

Ключевые слова: электрокардиосигнал, фильтрация, дрейф изоэлектрической линии.

Развитие специализированных отделений кардиологического наблюдения и интенсивной терапии в структуре современных больниц и клиник отражает тенденцию медицины к повышению уровня автоматизации технологии лечения больных. Такие отделения, как правило, оснащены электронными приборами, комплексами и системами для автоматизированного длительного непрерывного контроля над состоянием больных – медицинскими мониторами. Наиболее часто применяемые из них – кардиомониторы. Они следят за электрической активностью сердца по электрокардиосигналу, содержащему основную диагностическую информацию о состоянии сердечной деятельности. Применение кардиомониторов в несколько раз снижает риск внезапной смерти у больных с инфарктом миокарда, существенно улучшает качество диагностики и лечения кардиологических больных, облегчает медицинскому персоналу непрерывное наблюдение за их состоянием.

Существующие методы автоматического анализа электрокардиограмм (ЭКГ) отличаются большим разнообразием, которое обусловлено как различием решаемых задач, так и спецификой исследуемых параметров сигнала. Наиболее важным этапом автоматического анализа ЭКГ является распознавание важнейших ее элементов, заключающееся в обнаружении QRS-комплекса, выделении его характерных точек (вершин зубцов Q, R, S, границ комплекса и зубцов), определении некоторой опорной точки, относительно которой измеряются длительности RR-интервалов. В этой группе важное место занимает оценка смещения ST-сегмента относительно изолинии, позволяющая определить наличие у пациента предпосылок инфаркта миокарда [1].

В условиях регистрации ЭКГ в состоянии покоя при отсутствии мышечных артефактов и других электрических возмущений имеет место достаточно большое отношение сигнал–шум, но практически создать такие условия при длительном мониторинге или при недостижимом состоянии покоя не представляется возможным. Усилительная система электрокардиографа усиливает не только полезные сигналы, но и помехи, которые не всегда устранимы при линейной фильтрации. При автоматическом анализе помехи могут вызвать ложные предупреждения о критических состояниях пациента.

Будем считать, что на вход устройства поступает сумма полезного сигнала $S(t)$, высокочастотной помехи $X(t)$,

низкочастотной помехи $Z(t)$ и помехи в виде дрейфа изолинии $D(t)$:

$$Y(t) = S(t) + X(t) + Z(t) + D(t).$$

Помехи, возникающие при регистрации электрокардиосигналов (ЭКС), имеют различное происхождение и отличаются по спектральному составу и интенсивности. Предварительная линейная фильтрация ЭКС ослабляет составляющие $X(t)$ и $Z(t)$ сигнала $Y(t)$.

После этапа фильтрации в составе ЭКС сохраняется в виде помехи сигнал дрейфа изоэлектрической линии, так как его спектр находится в полосе частот полезного сигнала (рис. 1). Устранение дрейфа изолинии из сигнала ЭКС – достаточно сложная задача, так как линейная фильтрация неизбежно приведет к ослаблению и искажению полезного сигнала. Как отмечалось выше, одним из важных параметров ЭКС является оценка смещения ST-сегмента относительно изоэлектрической линии. Часто трудно отличить смещение ST-сегмента от дрейфа изоэлектрической линии, характеристики которого почти полностью перекрывают амплитудно-частотный спектр ST-сегмента.

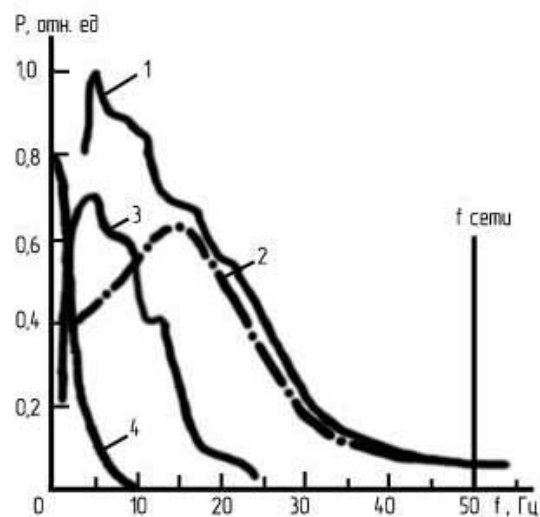


Рис. 1. Характеристики относительной спектральной мощности ЭКС и шумов: 1 – ЭКС; 2 – QRS-комплекс; 3 – P-, T-зубцы; 4 – дрейф изоэлектрической линии

Цифровая фильтрация малоэффективна на участках, где спектр сигнала дрейфа перекрывается по частоте с полезным сигналом. При этом существенно искажаются

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (код проекта КФ-61).

низкоамплитудные элементы ЭКС, в том числе и ST-сегмент [2]. Поэтому применение цифровой фильтрации ограничено только статической кардиографией, т. е. используется при неподвижном состоянии пациента.

Нелинейная фильтрация состоит в том, что сначала формируется компенсационный сигнал, а затем вычитается из входного сигнала.

Дрейф обусловлен дыхательной деятельностью, и на ЭКГ он обычно проявляется как синусоидальные волны и перекрывается по времени с сигналом $S(t)$. Участок TP (рис. 2) соответствует электрической диастоле сердца, т. е. в этот период сердце не совершает механических сокращений, и на поверхности тела, где установлены электроды, разность потенциалов отсутствует. Поэтому если на ЭКС действует аддитивная низкочастотная помеха, проявляющаяся в виде дрейфа изолинии, то на участке TP присутствует только сигнал этой помехи при условии, что все остальные помехи отсутствуют. Это позволяет использовать участок TP для формирования компенсирующего сигнала дрейфа путем интерполяции на остальные участки ЭКС. В процедурах формирования компенсирующего сигнала остальные участки ЭКС исключаются.

Наиболее перспективными методами интерполяции сигнала дрейфа изолинии является использование сплайн-функций [3; 4]. Существует достаточно много способов сплайн-интерполяции, они отличаются методами поиска значений, точностью, гладкостью и т. д. (URL: <http://alglib.sources.ru/interpolation/spline3.php>). Под сплайн-интерполяцией понимается специальный вид многоинтервальной интерполяции, обеспечивающий непрерывность в узлах не только самой аппроксимирующей функции, но и заданного числа ее производных. Основные преимущества сплайнов по сравнению с другими математическими конструкциями: простота реализации алгоритмов обработки; отсутствие накопления погрешности округления; высокая точность приближения [5; 6].

В работе было проведено моделирование процесса фильтрации с использованием двух способов формирования компенсирующего сигнала. Моделирование в среде Matcad и LABWiev содержало следующие этапы: формирование суммы ЭКС сигнала $S(t)$ с постоянной частотой следования 1 Гц, что соответствует частоте сердечных сокращений 60 ударов в минуту, и сигнала дрейфа $D(t)$ с произвольной частотой и амплитудой; исключение участков ЭКС кроме участка TP; формирование компенсирующего сигнала путем замены исключенных участков сигналом, полученным при помощи сплайн-интерполяции; вычитание компенсирующего сигнала из $S(t)$.

В процессе моделирования частота помехи дрейфа изменялась в пределах от 0,1 до 6 Гц (максимально возможное значение частоты сердечных сокращений человека).

Наиболее простым в реализации методом является интерполяция линейным сплайном. При интерполяции линейным сплайном участки от зубца Р до зубца Т в пределах одного кардиоцикла соединяются отрезками прямых линий.

Следующим методом является интерполяция с помощью кубического сплайна, который обеспечивает более высокую плавность и непрерывность первой и второй производной. Кубическая сплайн-интерполяция применяется для достаточно быстро изменяющихся функций, что характерно для нестационарного сигнала дрейфа.

Эффективность фильтрации оценивалась как средний квадрат разности между исходным сигналом $S(t)$ и сигналом, полученным в результате фильтрации. Результаты моделирования процесса фильтрации (рис. 3) показывают, что использование кубического сплайна обеспечивает более эффективную фильтрацию относительно линейного сплайна. Если частота сигнала дрейфа не превышает половины частоты сердечных сокращений, то удовлетворительные результаты достигаются и при использовании линейного сплайна.

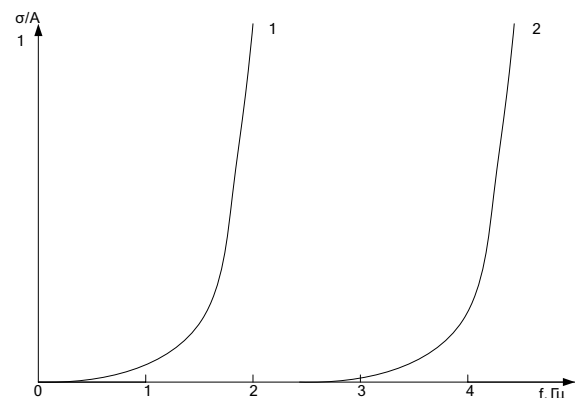


Рис. 3. График зависимости среднеквадратичной ошибки от частоты дрейфа изоэлектрической линии:

1 – линейный сплайн; 2 – кубический сплайн;

A – максимальное значение зубца R

При изменении частоты сердечных сокращений зависимости, сохраняя относительную пропорциональность, смещаются по оси частот. Поскольку частота сердечных сокращений изменяется в достаточно широком диапазоне, использование линейного сплайна для формирования компенсационного сигнала не имеет смысла.

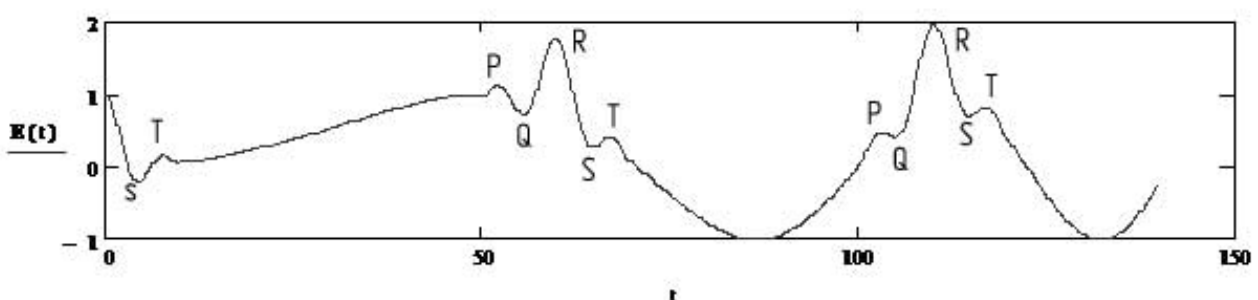


Рис. 2. Электрокардиосигнал с дрейфом изоэлектрической линии

Описанный способ фильтрации дрейфа изоэлектрической линии электрокардиосигналов с помощью кубической сплайн-интерполяции практически не дает ошибок при устранении дрейфа, частота которого равна частоте сердечных сокращений и превышает ее. Восстановленные сигналы имеют такие же параметры, что и исходные.

Библиографические ссылки

1. Кардиомониторы. Аппаратура непрерывного контроля ЭКГ : учеб. пособие для вузов / А. Л. Барановский, А. Н. Калиниченко, Л. А. Манило и др. ; под ред. А. Л. Барановского, А. П. Немирко. М. : Радио и связь, 1993.

2. Lateloga M. T., Busbu D. E., Lyne R. J. Assessment of ST-segment Distortions by Direct-writing Electrocardiographic Recorders // Biomed. Technik. 1977. Vol. 22. № 5. P. 115–121.

3. Meyer C. R., Keiser H. N. Electrocardiogram Baseline Noise Estimation and Removal Using Cubic Splines and State-space Computation Techniques // Comput. Biomed. Res. 1977. Vol. 10. P. 495–470.

4. Злочевский М. С. Обработка электрокардиограмм методами сплайн-функции // Новости мед. техники. 1983. Вып. 1. С. 18–20.

5. Завьялов Ю. С., Леус В. А., Скороспелов В. А. Сплайны в инженерной геометрии. М. : Машиностроение, 1985.

6. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. М. : Мир, 1972.

S. P. Panko, A. V. Mishurov

ISOELECTRIC LINE DRIFT FILTRATION IN PROCESS OF CARDIOLOGICAL RESEARCHES

In the article we considered ways and methods of electrocardiosignal isoelectric line drift smoothing in the process of automatic control of a patient's heart activity .

Keywords: electrocardiosignal, filtration, drift of isoelectric line.

© Панько С. П., Мишуров А. В., 2010

УДК 66.097.5

М. М. Симунин, С. В. Хартов

ПЛЕНКИ ИНВЕРСНОГО КВАРЦЕВОГО ОПАЛА КАК СУБСТРАТ ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК*

В качестве средства формирования субстрата для синтеза углеродных нанотрубок разработана экспериментальная технология получения пленок инверсного кварцевого опала. Рассмотрены основные вариации технологии, целесообразность применения которых зависит от поставленных задач.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, инверсный опал, каталитические субстраты.

При использовании обычных химических газофазных методов синтез углеродных нанотрубок (УНТ) происходит в отсутствие контроля над направлением их роста [1]. Для задания направления роста УНТ можно придавать как особую форму катализатору синтеза УНТ, так и блокировать их рост по всем направлениям, кроме целевого. Для создания перпендикулярной относительно подложки ориентации УНТ могут использоваться поры, сформированные на подложке. Одним из таких методов является формирование пленочной структуры инверсного опала [2].

Опал представляет собой упорядоченную структуру из диэлектрических сфер. В свою очередь, инверсный опал представляет собой пористое тело, полученное в процессе

отвердевания кремниевой кислоты вокруг сформированной структуры опала из полимерных сфер с дальнейшим удалением этих сфер. В работе были использованы полимерные сферы полиметилметакрилата [3].

Методика приготовления инверсного кварцевого опала (ИКО) следующая: тетраэтоксисилан (ТЭОС) разбавляется этанолом и смешивается со слабым водным раствором соляной кислоты, затем к этой смеси добавляется водный коллоид полиметилметакрилатных сфер (ПММА), после чего прекурсорная смесь отжигается и сферы сначала спекаются, в материале образуется метаструктурный каркас, затем полимер окисляется и выгорает при более высоких температурах. Температура отжига может варьироваться от 350 до 600 °С. Время отжи-

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

га может составлять от 1 до 8 ч в зависимости от толщины образцов и температуры.

Для формирования инверсного кварцевого опала в виде пленок методику формирования следует разделить на три возможных варианта. Первый – нанесение на подложку слоя прекурсорной смеси. Второй – нанесение на подложку отдельно слоя ТЭОС-содержащей смеси и затем слоя ПММА. И третий – нанесение на подложку сначала слоя ПММА с последующим нанесением ТЭОС-содержащей смеси.

В первом случае адгезия инверсного опала зависит исключительно от свойств подложки. Во втором случае между подложкой и инверсным опалом образуется переходный кварцевый слой, который обеспечивает прилипание инверсного опала к подложке. В третьем случае формируется приповерхностный слой ПММА, который при должной адгезии и диффузии смеси ТЭОС с соляной кислотой через ПММА позволит после термоокислительного удаления ПММА гарантированно сформировать на подложке пористую структуру. В работе в качестве подложки использовались пластины щелочного стекла.

Реализация первого случая показала низкую адгезию материала инверсного кварцевого опала к подложке. Вся поверхность подложки оказалась покрыта однородной разрывной пористой пленкой SiO_2 (рис. 1).

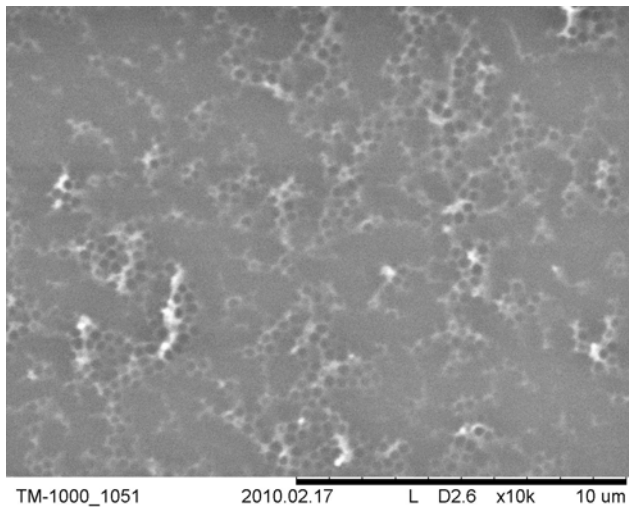


Рис. 1. Слой инверсного кварцевого опала, полученный нанесением прекурсорной смеси на подложку

Полученный результат связан с активным образованием кварцевого стекла в объеме прекурсорной смеси и глобул ПММА-частиц, что не дает возможности слою ИКО однородно сформироваться на поверхности подложки и затем образовать на ней пористую структуру инверсного кварцевого опала.

Реализация второго случая указала на образование на подложке из щелочного стекла тонкой пленки диоксида кремния, которая минимально взаимодействует с наносимым на него ПММА, вытесняя его на поверхность и не формируя упорядоченной структуры пор после выгорания сфер ПММА (рис. 2).

Реализация третьего случая была осложнена тем, что при высыхании двухслойной структуры ПММА–ТЭОС различие в коэффициентах усыхания каждого слоя при-

водило к возникновению механических напряжений, направленных на скручивание формируемого бисюля с его последующим отслаиванием от подложки.

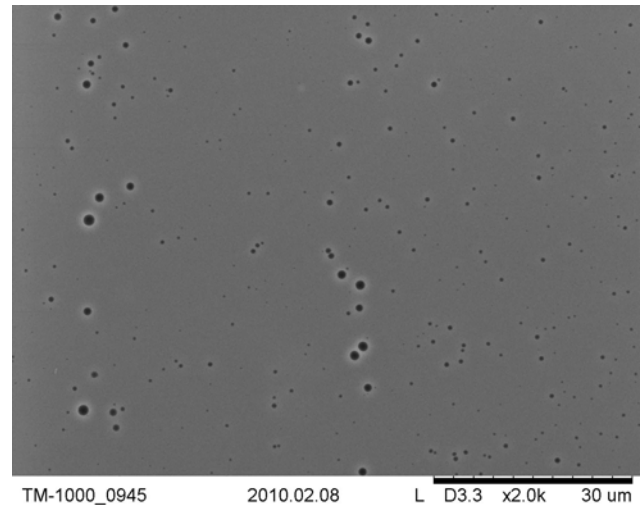


Рис. 2. Слой инверсного кварцевого опала, полученный нанесением смеси ТЭОС с соляной кислотой на подложку с последующим нанесением ПММА-коллоида

Однородное прилипание ПММА к подложке можно обеспечить добавлением поверхностно-активного вещества (ПАВ) в коллоид, что и было сделано. В качестве ПАВ был выбран додецилсульфонокислый натрий (лаурилсульфат натрия).

Обнаружено, что получаемая структура кварцевых пор зависит от добавления ПАВ в коллоид ПММА. После нанесения коллоида, прекурсорной смеси, а затем сушки и отжига на стекле получалась неразрывная в больших масштабах пленка кварцевых пор (рис. 3).

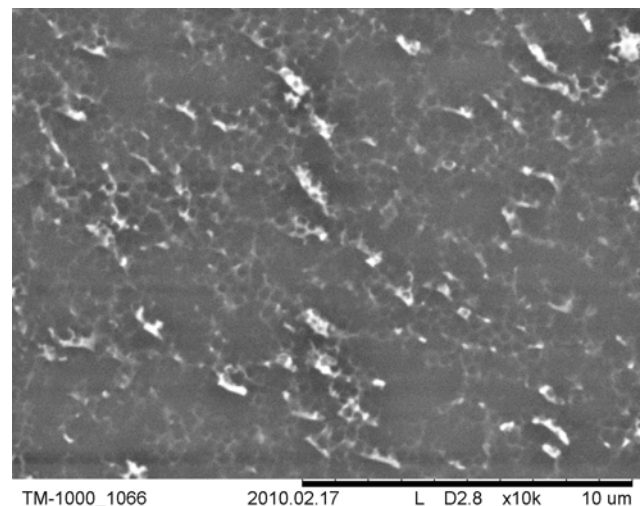


Рис. 3. Кварцевые поры на стеклянной подложке. К водному коллоиду ПММА добавлялся ПАВ

Однако добавление ПАВ вызвало искажение в структуре пор по сравнению с другими удачными результатами.

Для эффективного формирования инверсного кварцевого опала в форм-факторе тонких слоев была разработана «сэндвич-методика», предполагающая раздельное нанесение тонких слоев ПММА-сфер (рис. 4) и прекур-

сорной смеси на обоюдные стороны двух подложек. После определенного времени выдерживания каждого слоя подложки приводились в контакт. Таким образом, предложенную методику можно рассматривать как аналог импринт-литографии [4]. Время выдерживания слоя ПММА-сфер определялось скоростью удаления из него дисперсионной среды, а время выдерживания ТЭОС-содержащего слоя – скоростью перехода ТЭОС-смеси в гель поликремниевой кислоты. В результате механического контакта подготовленных описанным способом подложек поликремниевая кислота обволакивает ПММА-сферы.

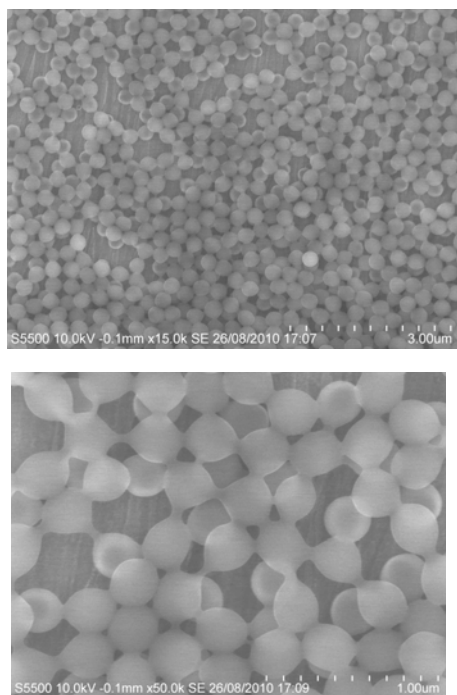


Рис. 4. Слой ПММА-сфер. РЭМ-изображение

По описанной «сэндвич-методике» были получены протяженные массивы пор с достаточной адгезией к подложке (рис. 5, 6).

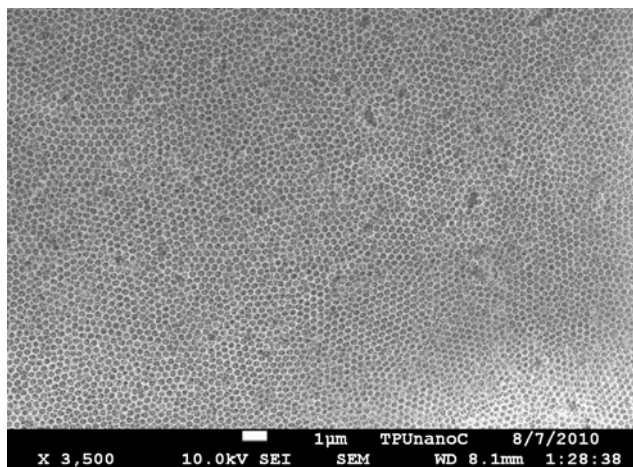


Рис. 5. Слой инверсного кварцевого опала, полученный по «сэндвич-методике». РЭМ-изображение

Кроме того, поскольку данные поры формируются не на свободной поверхности, а на границе с твердым

телом (ответной стороне закрытой «сэндвич-структуры»), то удается достигнуть предельно тонкой структуры пор. Иными словами, поры имеют геометрию типа «осинового гнезда» и характеризуются острыми краями с большей крутизной стенок (вплоть до отрицательных углов на выходе из пор (см. рис. 6).

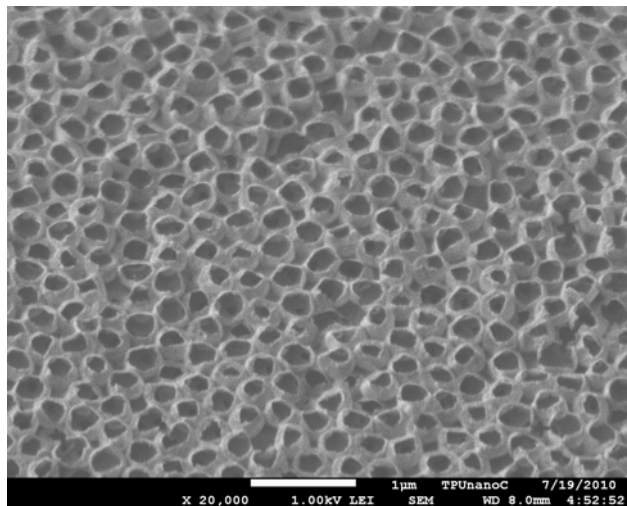


Рис. 6. Структура пор слоя инверсного кварцевого опала, полученного по «сэндвич-методике». РЭМ-изображение

Данные особенности геометрии пор имеют существенное значение для организации консольного закрепления углеродных нанотрубок в вертикальном положении: при достаточно малом радиусе закругления верхних краев пор углеродной нанотрубке становится энергетически невыгодным изгибаться, чтобы сохранить контакт с поверхностью твердого тела, вследствие чего она может продолжить свой дальнейший рост в отрыве от поверхности, подобно консольной балке. При формировании пор на свободной поверхности имеет место эффект сглаживания геометрии их краев (рис. 7).

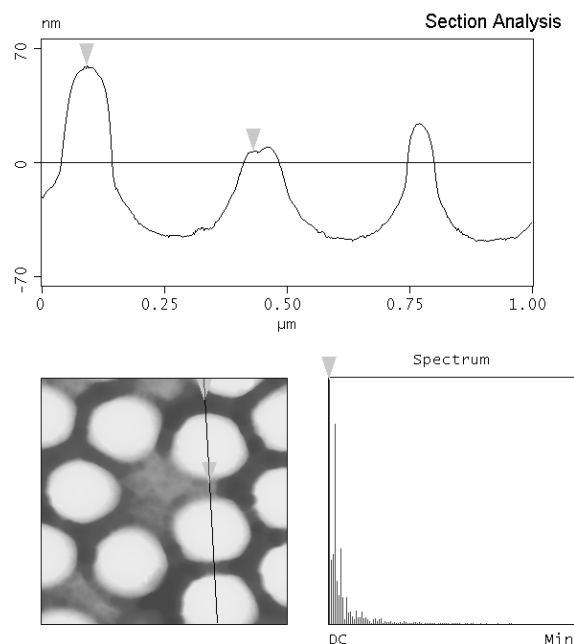


Рис. 7. Структура пор слоя инверсного кварцевого опала со свободной поверхностью. АСМ-изображение

Рост пространственной упорядоченности пор инверсного кварцевого опала может быть достигнут посредством увеличения температуры отжига (рис. 8). В то же время увеличение упорядоченности метаструктуры ИКО ведет к ее более низкой адгезии к подложке.

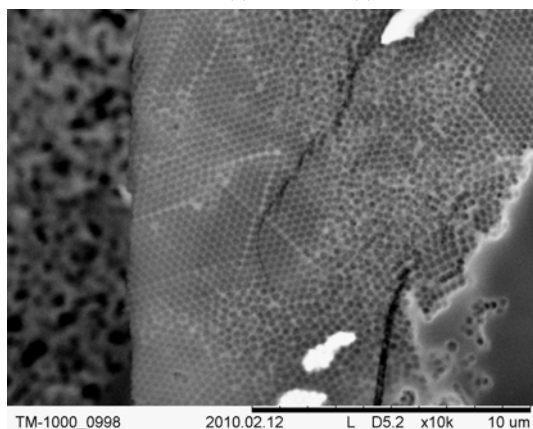


Рис. 8. Структура пор слоя инверсного кварцевого, полученного при повышенных температурах.
РЭМ-изображение

Таким образом, была решена задача реализации экспериментального технологического процесса формирования нанопрофилированных подложек на основе ИКО. Выявлено, что однородность ИКО зависит от однородности распределения ПММА и силы его адгезии к подложке, а его упорядоченность – от температуры отжига.

Библиографические ссылки

1. Раков Э. Г. Химия и применение углеродных нанотрубок // Успехи химии. 2001. № 70. С. 934–973.
2. Holland B. T., Blanford C. F., Stein A. Synthesis of macroporous minerals with highly ordered three-dimensional arrays of spheroidal voids // Science. 1998. № 281. P. 538–540.
3. Model filled polymers. V. Synthesis of crosslinked monodisperse polymethacrylate beads / D. Zou, S. Ma, R. Guan et al. // J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem. 1992. № 30. P. 137–144.
4. Nanoelectrochemical transducers for (bio-) chemical sensor applications fabricated by nanoimprint lithography / M. Beck, F. Persson, P. Carlberg et al. // Microelectronic Engineering. 2004. № 73–74. P. 837–842.

М. М. Симунин, С. В. Хартов

FILM OF INVERSE QUARTZ OPAL USED AS SUBSTRATE FOR CATALYTIC SYNTHESIS OF CARBON NANOTUBES

Technology of inverse quartz opal film production was used as a mean of substrate formation for carbon nanotube synthesis. In the article we observe basic variations of the technology and methods which can be used for various film applications.

Keywords: carbon nanotubes, inverse opal, catalytic substrates.

© Симунин М. М., Хартов С. В., 2010

УДК 621.311.21 – 59.45.33

Г. Я. Шайдуров, А. М. Волошин, В. Н. Ветошкин, В. В. Гондарев, М. Н. Сулопаров

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ*

Рассмотрены концептуальные подходы к созданию импортозамещающих технологий мониторинга крупных гидротехнических сооружений – радиотехнического створа, автоматических датчиков гидронивелиров и деформометров для контроля береговых примыканий сооружений плотины.

Ключевые слова: мониторинг, гидротехнические сооружения, радиотехнический створ, гидронивелир, уровень, деформометрический контроль, примыкание.

В районах Восточной Сибири, в частности, на территории Красноярского края, расположен ряд потенциально опасных наземных и подземных промышленных инженерных сооружений, представляющих непосредственную угрозу жизнедеятельности населения. Наиболее

опасными и требующими всестороннего мониторинга и пристального внимания объектами, являются крупнейшие гидротехнические сооружения: Красноярская ГЭС, Саяно-Шушенская ГЭС и строящаяся Богучанская ГЭС.

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (код проекта КФ-63).

Безусловно, в проектах плотин I–III классов предусматривается закладка всевозможной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) для проведения натурных наблюдений за работой и состоянием сооружений, их оснований и приконтактных зон береговых примыканий, как в процессе строительства, так и в период эксплуатации. Материалы этих наблюдений используются для оценки надежности объекта, своевременного выявления формирующихся дефектов, назначения ремонтных мероприятий, предотвращения аварий и улучшения условий эксплуатации. Натурные наблюдения подразделяются на контрольные и специальные.

Основными задачами натурных наблюдений за гидротехническими сооружениями являются комплексное изучение их основных показателей работы; проверка соответствия этих показателей проектным предпосылкам, критериям безопасности и нормативным требованиям регламентирующих документов. Временной период эксплуатации плотины рассчитывается достаточно длительным, и за период ее работы происходят значительные изменения как в принципах и методах измерений некоторых параметров, так и принципиальные изменения конструкций контрольно-измерительных аппаратных средств и систем [1].

Опыт эксплуатации гидротехнических сооружений показывает чрезвычайную сложность процессов взаимодействия тела плотины с основанием и скальными примыканиями. Многофакторность, многоэтапность, разномасштабность и изменчивость этих процессов делает механизм каждого взаимодействия и методы их контроля уникальными, требующими индивидуального подхода.

Проект КФ-63, выполненный в 2010 г. по гранту Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности, включает в себя три составные части:

- разработку научно-технических основ нового метода дистанционного контроля деформации геометрической формы плотины – радиотехнического створа;
- разработку цифрового датчика высокоточного контроля уровня воды в гидронивелирах и технологической основы создания соответствующей автоматизированной системы;
- создание основ деформометрического метода и датчиков контроля напряженного состояния зон примыкания краевых бетонных секций плотин к массиву скального участка горных пород.

Разрабатывается принципиально новый, не используемый ранее дистанционный метод контроля геометрической формы и собственных колебаний плотины, основанный на радиотехническом способе измерения расстояния с точностью ± 100 мкм с дистанции порядка 1 000 м.

Сущность метода заключается в установке по верхней кромке плотины активных или пассивных радиоизлучателей, компенсации влияния атмосферы за счет использования базовых переизлучателей и достижения высокой точности путем исключения паразитных переотражений от стенки плотины параметрической модуляцией волнового сопротивления радиоизлучателей.

На этапе теоретического обоснования метода анализируются два его варианта: метод активной радиолока-

ции с облучением пассивных переизлучателей и синхронизацией по времени и метод с использованием активных излучателей, расположенных по верхней кромке плотины, приемом радиосигнала в базовой точке в районе нижнего бьефа и синхронизацией по времени через космические РНС ГЛОНАСС-GPS. Будет осуществлена экспериментальная разработка оптимального из указанных двух вариантов методов.

Поскольку на всех ГЭС Российской Федерации используются неавтоматизированные гидронивелиры, обеспечивающие контроль поперечных смещений плотины и представляющие собой трубопроводы, заполненные водой, актуальным является автоматическое измерение уровня воды в них с точностью ± 20 мкм.

Автоматизированные датчики зарубежного производства, в частности немецкой фирмы «Флайбергер прецизионс механик», имеют чрезвычайно высокую цену – до 8 000 долл. – и проблематичны в эксплуатации на отечественных ГЭС. Проект КФ-63 предполагает разработку концептуально нового датчика на основе оптоэлектронных технологий с использованием лазерного облучателя и преобразования координат с помощью матрицы ПЗС. Предварительные эксперименты подтвердили возможность реализации подобного метода.

Эффективными являются деформометрические методы исследования и контроля напряженного состояния зон примыкания краевых бетонных секций с напряженными участками скальных массивов горных пород. Долговременные наблюдения в процессе эксплуатации за техноприродными процессами в зонах взаимодействия плотин и береговых скальных упоров осуществляются с помощью визуальных и инструментальных методов. К инструментальным методам относятся геодезические, геофильтрационные (геогидравлические), геотехнические, геотермические, геофизические. Визуальные наблюдения за развитием техноприродных процессов проводятся в местах их прогнозирования и проявления в элементах сооружения. Таким образом, ведутся визуальные наблюдения за техноприродными процессами, идущими в береговых примыканиях плотин.

Наиболее серьезную опасность в настоящее время для Красноярского региона представляет сползание гребня плотины Саяно-Шушенской ГЭС вниз по течению реки. Гравитационно-арочная плотина Саяно-Шушенской ГЭС противостоит нагрузке в основном за счет упора в берега. В связи с возникшей проблемой контроль зоны примыкания плотины – скальный берег является крайне актуальным. Применение визуальных и инструментальных методов требует полной автоматизации мониторинга сдвижения и деформациями приконтактных зон и береговых примыканий, что позволит выявить тенденции поведения гидросооружения. Применение деформометрических методов совместно с аппаратурой радиотехнического створа обеспечит выявление взаимосвязи между поведением гидросооружения и состоянием береговых примыканий.

Аппаратная реализации радиотехнического створа. Структурная схема проектируемого створа представлена на системой маломощных радиопередатчиков, располагаемых равномерно вдоль верхней кромки плотины на

расстоянии между собой 20...30 м и синхронизируемых опорными сигналами, поступающими с приемного устройства, располагающегося в районе нижнего бьефа на расстоянии, рекомендуемом используемыми в настоящее время методиками геодезических измерений створа: $r_1 = 1\,000$ и $r_2 = 3\,000$ (рис. 1).

Для компенсации изменений параметров атмосферы в двух опорных точках по обоим берегам устанавливаются передатчики опорных радиоканалов, служащие для оперативной оценки скорости распространения радиоволн и внесения поправок в результаты измерения дальности основных каналов.

Все передатчики створа работают в импульсном режиме и дистанционно включаются командами, поступающими от наземного приемника по каналу синхронизации.

Приемник по очереди принимает сигналы передатчика, которые после детектирования фазовым детектором преобразуются в цифровой код и запоминаются в оперативной памяти микроконтроллера (МК).

Одновременно в память МК поступают данные измерений скорости распространения радиоволн (РРВ), получаемые из опорных радиоканалов.

Расчет приращений дальности Δr , получаемых по каждому измерительному радиоканалу, и ввод атмосферных поправок на скорость РРВ производится в МК, в качестве которого может быть использован персональный компьютер.

Антенна приемника снабжается электроприводом для осуществления углового сканирования передатчиков створа.

При использовании простых антенн типа «волновой канал» небольших габаритов возможно использование для каждого передатчика створа персональной антенны. В этом случае можно исключить механическое перемещение приемной антенны.

Временная эпюра включения передатчиков створа показана на рис. 2. В этом варианте в течение цикла обзора сначала излучает опорная береговая станция, затем с периодом повторения $T = 60$ мкс включаются попарно передатчики 1, 2 створа в течение времени T_2 , равного, например, 1 с. В следующий цикл работают передатчики 2, 3, затем 3, 4 и далее с текущими номерами $i, i + 1$.

Опорный передатчик привязывается по времени и частоте к величинам систем ГЛОНАСС/GPS, так что на приемной стороне с помощью местного генератора, управляемого напряжением (ГУН), формируется сигнал опорной частоты f_0 .

Далее, при подключении очередной пары фазовых детекторов ($i, i + 1$), на интеграторах, подключенных к их выходу, вырабатываются напряжения, пропорциональные сдвигу фаз радиосигналов, поступающих от соседней пары створных передатчиков (φ_i, φ_{i+1}).

Первая разность этих фазовых сдвигов дает приращение расстояния между антеннами створных передатчиков:

$$(\Delta\varphi_i - \Delta\varphi_{i+1}) = 2\pi f \frac{\Delta r_i}{c}. \quad (1)$$

Возможно либо прямое преобразование этой разности в цифровой код, либо с промежуточным преоб-

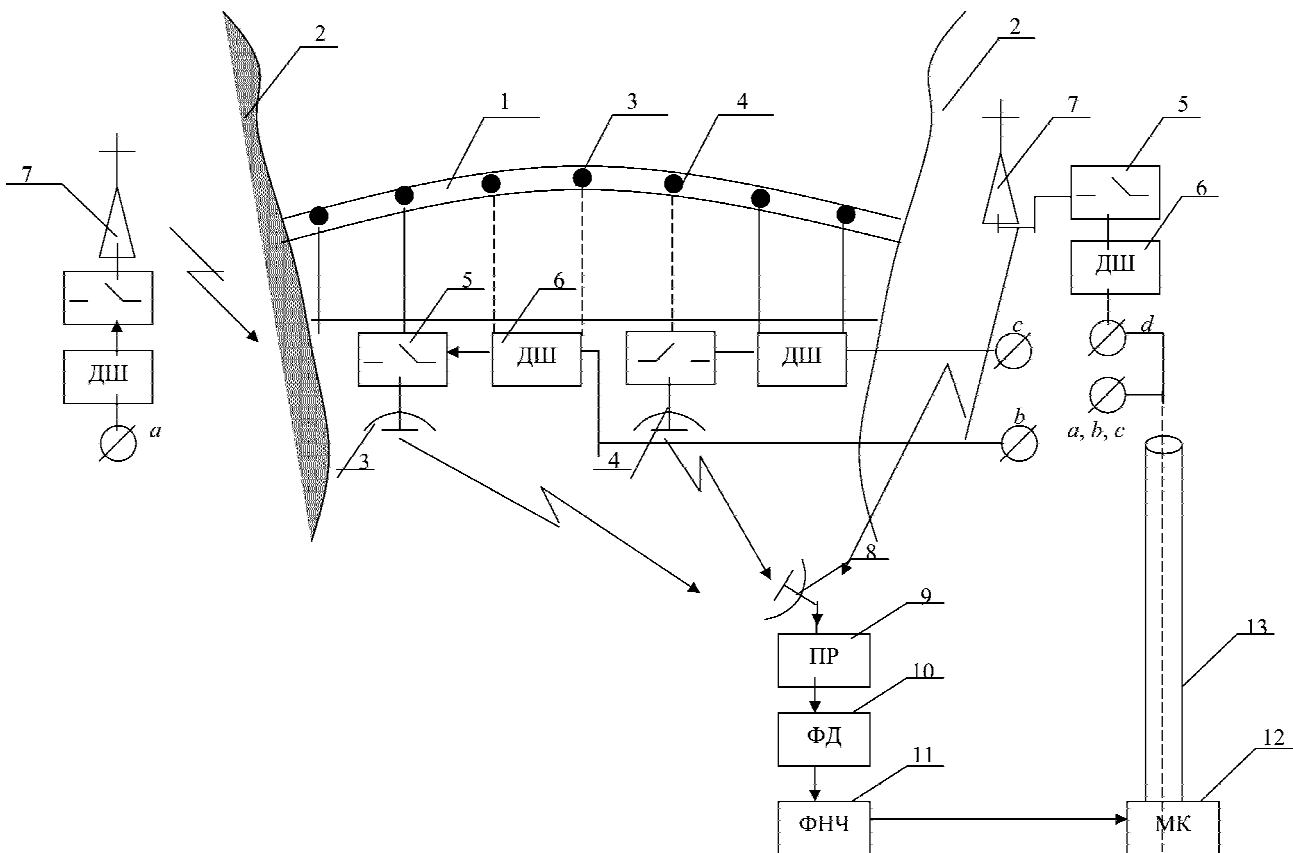


Рис. 1. Структурная схема реализации радиотехнического створа: 1 – верхний створ арочной плотины; 2 – береговая черта; 3, 4 – антенны створного передатчика; 5 – коммутатор; 6 – дешифратор команд; 7 – опорные передатчики; 8 – приемная антенна; 9 – приемник; 10 – фазовый детектор; 11 – фильтр нижних частот; 12 – микроЭВМ; 13 – оптоволоконная линия связи

разованием частотного сдвига с помощью дополнительных ГУНов.

Таким образом, за счет сближения до минимума измерительных трасс, высокой точности привязки по частоте и времени опорного передатчика под сигналы КРНС ГЛОНАСС/GPS, обеспечивается компенсация изменений скорости РРВ за счет метеоусловий среды. В этом случае набег времен запаздывания радиосигнала на всей длине радиотрассы r исключается из данных измерений, а погрешность, вносимая изменяемой скоростью РРВ, зависит лишь от приращения расстояний между точками $i, i + 1$, что на три порядка меньше величины r .

Автоматизация гидро nivelиров. Определение осадки бетонных плотин и их оснований производится нивелированием разного вида в зависимости от допустимой погрешности измерений.

Размещение марок на плотине должно давать информацию о распределении осадки в продольном и поперечном направлениях. Количество марок определяется классом сооружения, его геометрическими размерами и конструктивными особенностями.

Могут применяться следующие методы нивелирования: геометрический – для измерений на гравитационных и контрфорсных плотинах; тригонометрический – для определения осадки марок арочных плотин, а также при

контроле состояния берегов (оползни, обвалы); гидро-статический – для измерения осадки отдельных точек, доступ к которым затруднен.

Для определения наклонов плотины целесообразно использовать поперечные гидро nivelеры.

Основным достоинством гидро nivelеров является возможность осуществления полной автоматизации измерений сравнительно простыми и в то же время эффективными средствами.

В рамках проекта КФ-63 ведется разработка и изготовление лабораторного макета концептуально нового датчика на основе опто-электронных технологий с использованием лазерного облучателя и преобразования координат на основе матрицы ПЗС. Выполнена проверка метода измерений и проведены лабораторные испытания основанного на этом методе макета.

Принцип действия датчика основан на отражении лазерного луча от поверхности жидкости на линейное многоэлементное фотоприемное устройство (ФПУ) с последующей оценкой положения его на линейке ФПУ. Режимы работы ФПУ управляет микроконтроллер, используемый также для первичной обработки результатов измерений.

Световой поток, отраженный от поверхностного слоя жидкости в резервуаре датчика, попадает через защитное стекло на фотоприемное устройство (рис. 3).

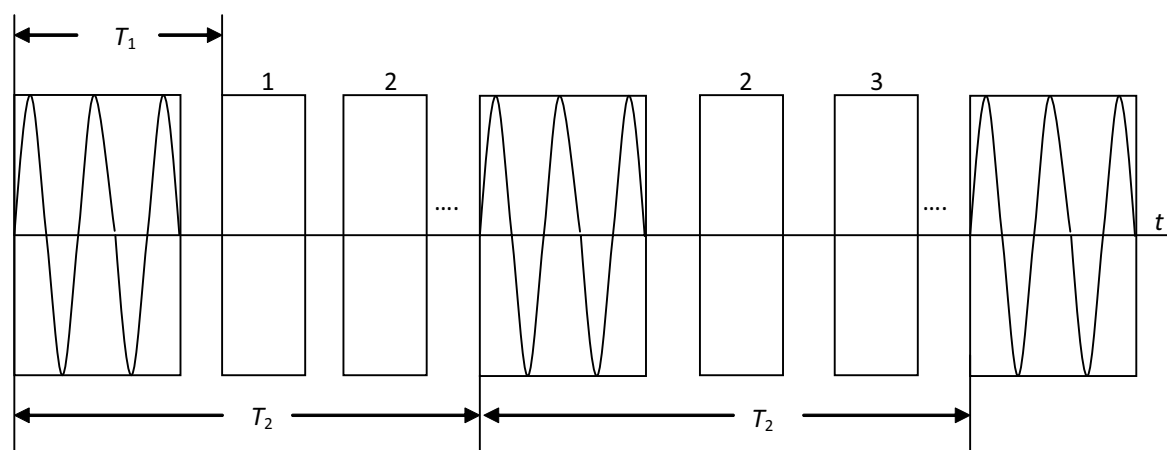


Рис. 2. Временная эпюра включения передатчиков створа

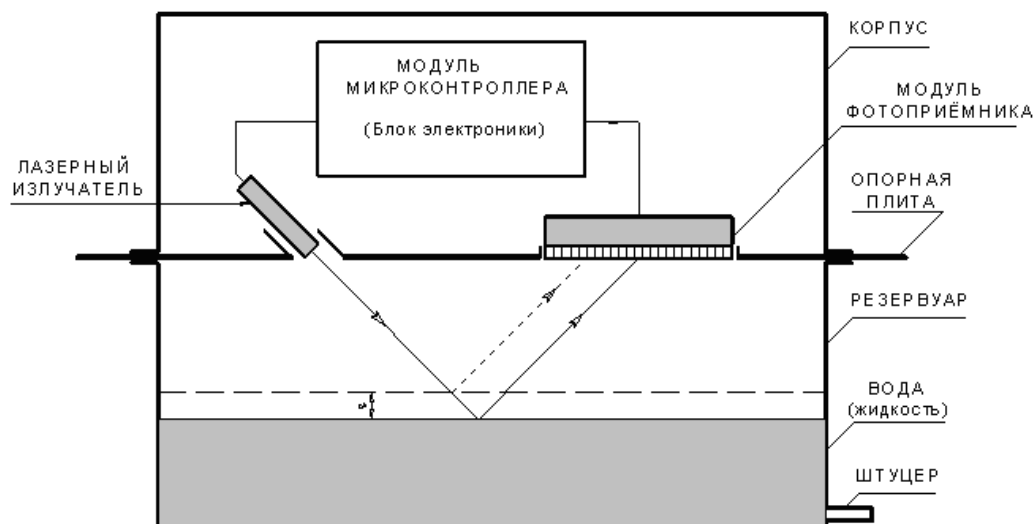


Рис. 3. Принцип работы датчика

Фотоприемное устройство преобразует отраженный световой поток лазерного источника в электрический сигнал, из которого с помощью микроконтроллера выделяется полезная часть и определяется координата положения луча (в пикселях). Полученные измерения передаются через магистральную линию связи на компьютер, где пересчитываются в фактические значения уровня и выводятся на экран монитора.

Для проведения замеров была создана экспериментальная установка (рис. 4).

К станине 1, закрепленной на фрезерном станке 5, с помощью регулируемого крепления присоединяется датчик уровня жидкости 2. На той же станине 2 закрепляется индикатор 4, опирающийся измерительной рейкой на подвижный в вертикальной плоскости стол 6 фрезерного станка. На стол 6 так же неподвижно устанавливается емкость 3.

Принцип работы экспериментальной установки заключается в следующем: при перемещении стола 6 в вертикальной плоскости происходит изменение расстояния между датчиком и поверхностью жидкости в емкости 3. Фактические показания изменения расстояния отсчитываются по индикатору 4. Измеренное в соответствии с принципом работы датчика значение уровня жидкости передается на ПК для дальнейшей обработки.

Конструктивно датчик (рис. 5) состоит из двух закрепленных на опорной плите из дюралюминия толщиной 10 мм модулей:

- модуля электронного блока, размещенного в герметичном пластиковом корпусе G368 фирмы GAINTA, установленного на опорной плите;
- водоналивного съемного резервуара (емкости), закрепленного на нижней поверхности плиты.

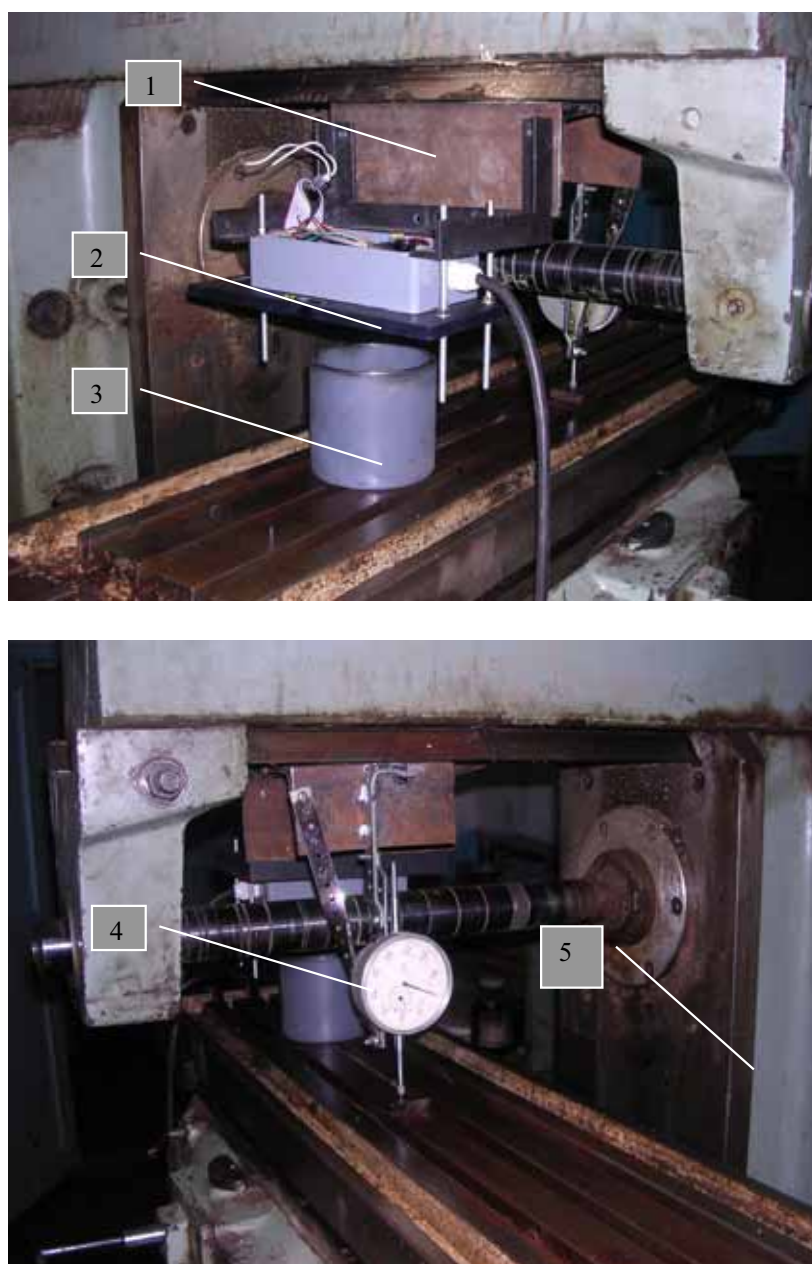


Рис. 4. Фото экспериментальной установки: 1 – крепежная станина; 2 – датчик; 3 – емкость с жидкостью; 4 – индикатор часового типа ИЧ-50; 5 – станина фрезерного станка; 6 – подъемный стол фрезерного станка

Опорная плита имеет крепежные отверстия для установки изделия на базовые опорные конструкции объекта измерений.



Рис. 5. Общий вид датчика 1 – плита опорная; 2 – корпус датчика; 3 – гермоввод; 4 – уровни установки датчика по горизонтали

Координатно-временная зависимость результатов измерения при фиксированном уровне жидкости в течение длительного времени представлена на рис. 6.

По результатам экспериментов было отмечено влияние окружающих факторов (вибрации, колебаний воздуха и т. д.) на показания датчика с течением времени. Данное явление связано с низкой вязкостью воды и долгим временем затухания колебаний поверхности воды, вызванных воздействием окружающих факторов.

Результаты измерений приведены в таблице.

Разработка метода деформометрического мониторинга плотин. В процессе выполнения работ по проекту пред-

полагается разработка эффективной автоматизированной системы деформометрического обследования и мониторинга потенциально опасных зон береговых примыканий правого и левого берега плотины Саяно-Шушенской ГЭС, для оценки их состояния и предупреждения возможных аварийных ситуаций и принятия превентивных мер по их предотвращению.

Основными задачами мониторинга береговых примыканий являются следующие:

- определение характера развития процесса подвижек, величин линейных изменений сдвижений и деформаций примыканий и зон скальных пород;
- определение форм и размеров приконтактных зон сдвижения и деформирования прилегающих скальных пород и надскальной земной поверхности в области береговых примыканий;
- определение общей продолжительности и декремента процесса сдвижения горных пород в периоды опасных деформаций;
- установление взаимосвязи линейных сдвижений и деформаций горных пород в зонах береговых примыканий с процессами колебаний гребня плотины и величин линейных изменений размеров створа;
- определение величин допустимых и предельных деформаций для скальных пород примыканий и расчет их предельных напряженностей;
- оценка эффективности применяемых мер и методов деформометрического мониторинга зон береговых при-

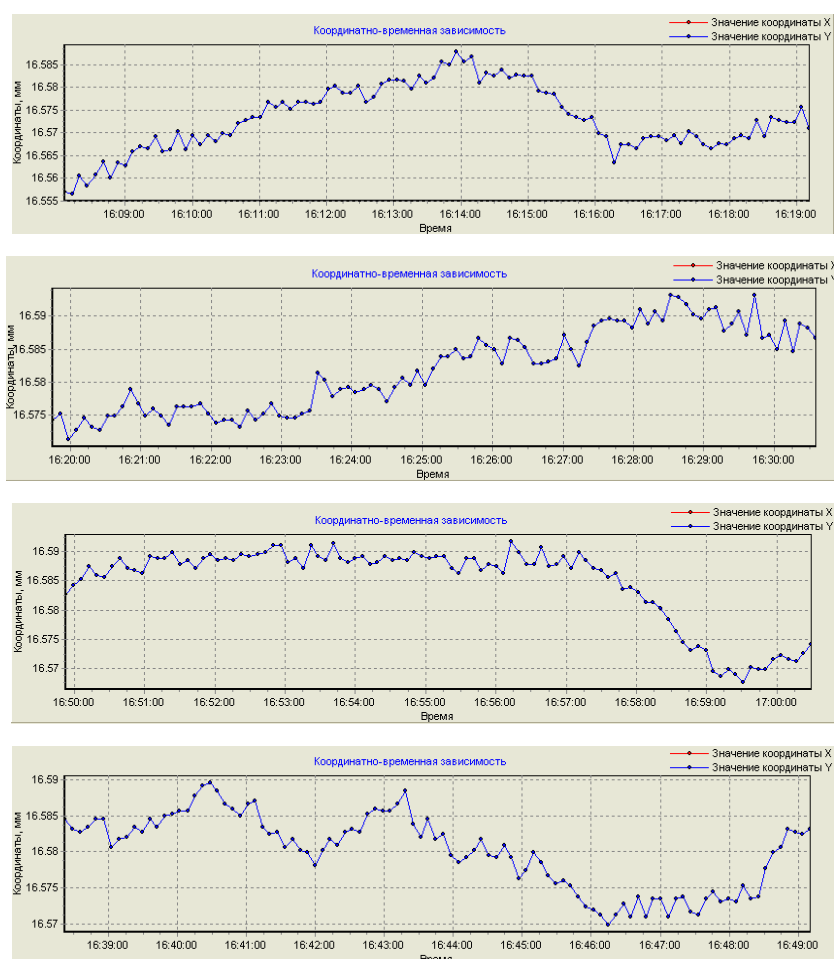


Рис. 6. Результаты измерения уровня рабочей жидкости (воды) с использованием емкости типа «а»

мыканий, своевременная их корректировка и разработка новых методик и аппаратно-программных средств систем.

Измерительная система деформометрического мониторинга должна включать:

- автоматическое многоточечное измерение расстояний, смещений, деформаций, конвергенций, а также градиентов скоростей и ускорений с помощью индуктивных бесконтактных датчиков;
- проведение скважинных измерений деформаций краевых участков массивов горных пород и фундаментов;
- контроль флуктуаций и раскрытия трещин в обделке тоннелей, массивах горных пород и береговых примыканиях;
- измерение микросмещений несущих элементов конструкций плотины, измерение деформаций и микросмещений ответственных узлов инженерных сооружений;
- организацию сети наблюдения за состоянием потенциально опасных объектов, создание локальных измерительных участков, обеспечивающих проведение измерений различными типами датчиков, аналого-цифровое преобразование и регистрацию данных, объединенных общей системой сбора данных наблюдений;
- организацию телеметрической сети сбора информации и управления измерительными пунктами как распределенной радиально-параллельной, цифровой системы с использованием интеллектуальных устройств сбора, предварительной обработки и накопления данных наблюдений;
- подключение и использование в сети мониторинга, кроме штатных измерителей, других датчиков и приборов, позволяющих проводить наклономерные измерения, измерения радиоактивности и других медленно меняющихся процессов.

Деформометрический мониторинг должен обеспечивать автоматическое, долговременное непрерывное наблюдение за состоянием контролируемых объектов в ус-

ловиях реальных техногенных и природных воздействий с накоплением информации в локальной базе.

Итак, в процессе работы по проекту было установлено, что оптимальными рабочими частотами радиотехнического створа можно считать частоты 2,4 и 8 ГГц, соответствующие разрешенным участкам радиодиапазона для промышленных применений при мощности излучения не более 5 МВт.

Определено, что для снижения влияния метеоусловий на погрешность измерения расстояния целесообразным является метод последовательного измерения приращений дальности вдоль створа с начальной привязкой к опорной береговой радиолинии и системе оценки координаты опорного передатчика с помощью космических радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS.

В дальнейших работах по проекту необходимо выбрать оптимальные размеры антенн, разработать и реализовать опытную радиолинию, произвести экспериментальные наблюдения и определить пути реализации опытного образца системы.

Разработаны конструктивные решения оптического датчика уровня жидкости в гидронивелирах, создан макетный образец датчика, изготовлен и испытан стенд для проведения экспериментальных работ по исследованию параметров данного изделия. В результате проведенных экспериментов была уточнена конструкция изделия, получены решения, позволяющие получать требуемую точность измерений уровня жидкости в гидронивелирах.

Библиографическая ссылка

1. Шайдуров Г. Я. Автоматизированный контроль гидротехнических сооружений. Новосибирск : Наука, 2009.

Результаты измерения уровня рабочей жидкости (воды)

Уровень по показаниям контрольного индикатора, мм	Измеренный уровень, мм	Отклонение, мм
0	0,080	0,08
5	4,986	-0,014
10	9,988	-0,012
15	15,005	0,005
20	19,990	-0,01
25	25,011	0,011
30	30,017	0,017
35	35,02	0,02
40	39,998	-0,002

G. Ya. Shaidurov, V. N. Vetoshkin, V. V. Gondarev, M. N. Susloparov

NEW DIRECTIONS IN RESEARCH OF HYDRAULIC STRUCTURES SAFETY CONTROL

In the article we examine conceptual approach of competitive technologies making for big hydro engineering, structures monitoring – radio power site, automatic hydroxonium and level gauge sensors for dam structures coastal contiguity control.

Keywords: *monitoring, hydro engineering structure, radio power site, hydroxonium, level gauge, deformmetrical control, contiguity.*

РАЗДЕЛ
2

АВИАЦИОННАЯ
И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ
ТЕХНИКА

А. Ю. Власов, Д. А. Большаков, Р. В. Авакумов

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЯЗИ ЭКРАНИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ*

Триаксиальным методом исследуется зависимость сопротивления связи экранирующих материалов от частоты сигнала в диапазоне 0,1–100 МГц. Исследования проводятся с использованием триаксиальной измерительной системы, изготовленной в Научно-образовательном центре «Космические системы и технологии» Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева.

Ключевые слова: триаксиальный метод, сопротивление связи.

Основная идея оценки сопротивления связи радиочастотных кабелей триаксиальным методом заключается в создании помехонесущего поля между внешней трубой и оплеткой кабеля, в результате чего на оплетке кабеля появляется помехонесущий ток, который в свою очередь создает наводки на жиле кабеля. Замеряя разность потенциалов между жилой и оплеткой кабеля, а также разность потенциалов между трубой и оплеткой кабеля, затем, беря их отношение, получаем значение для сопротивления связи тестируемого образца кабеля. При этом нужно учитывать дополнительные поправочные коэффициенты, связанные с неоднородностью распределения тока в системе. Сопротивление связи является одним из основных параметров для определения эффективности экранирования [1]. На основе триаксиального метода создаются и эксплуатируются измерительные установки [2].

Теоретические исследования эффективности экранирования радиочастотных кабелей выражаются в формулах, на основе которых возможен расчет экранов различных конструкций. Однако полученные формулы являются приближенными и не могут применяться на практике для оценки помехозащищенности кабеля (кабельных систем). Точный расчет несплошных экранов связан с большими трудностями. При этом особое значение приобретают экспериментальные методы оценки эффективности экранирования.

При построении триаксиальной измерительной системы за основу была взята принципиальная схема (рис. 1), примененная в работе [3].

Распределения токов и напряжений вдоль проводников триаксальной установки описываются с помощью телеграфных уравнений. Измерительную систему можно разбить на две цепи: внешнюю, образованную внутренней поверхностью трубы и внешней поверхностью экрана и внутреннюю, образованную жилой и внутренней поверхностью экрана. При этом в отличие от [3], где система работает в согласованном режиме, в изложенных ниже математических выкладках учитывался случай, когда внешняя и внутренняя цепи не имеют хорошего согласования. Такой случай имеет практическую значимость при исследовании различных кабельных оплеток, не входящих в состав готового кабеля со стандартным волновым сопротивлением.

В установившемся режиме телеграфные уравнения для внешней цепи записываются следующим образом [4]:

$$\begin{cases} \frac{dV_T}{dx} = -Z_T I_T; \\ \frac{dI_T}{dx} = -Y_T V_T, \end{cases} \quad (1)$$

где V_T и I_T – соответственно напряжение и ток во внешней цепи; $Z_T = R_T + j\omega L_T$, где R_T , G_T – соответственно погонные сопротивление и индуктивность внешней цепи;

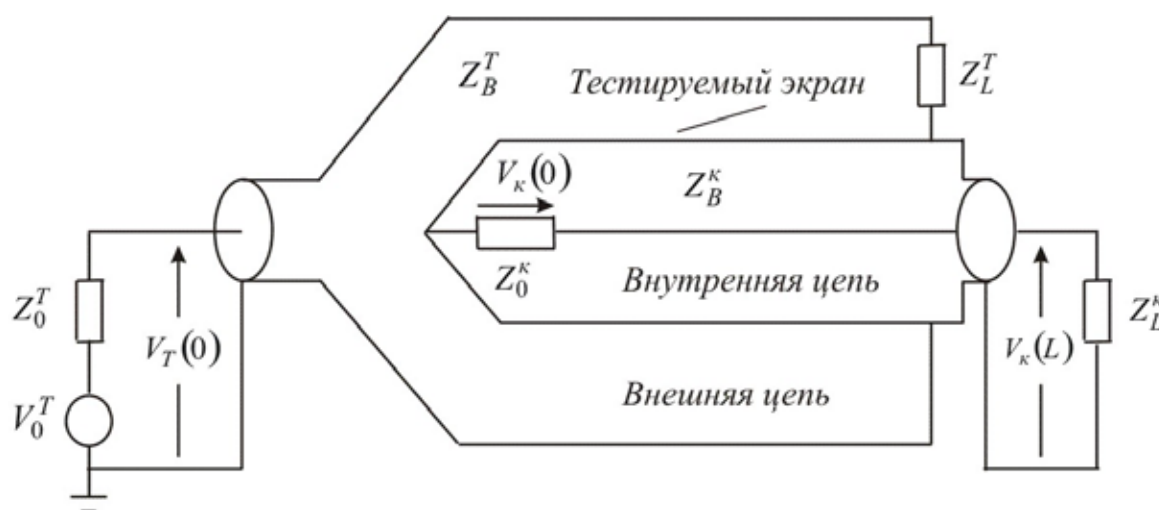


Рис. 1. Схема триаксальной линии

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

$Y_T = G_T + j\omega C_T$, где G_T , C_T – соответственно погонные проводимость изоляции и емкость; ω – циклическая частота тока; j – мнимая единица. Решение уравнений (1) можно представить в виде суперпозиций гиперболических функций:

$$\begin{cases} V_T = V_T(0) \operatorname{ch} \gamma_T x - Z_B^T I_T(0) \operatorname{sh} \gamma_T x; \\ I_T = I_T(0) \operatorname{ch} \gamma_T x - \frac{1}{Z_B^T} V_T(0) \operatorname{sh} \gamma_T x. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $\gamma_T = \sqrt{Z_T Y_T}$, $Z_B^T = \sqrt{\frac{Z_T}{Y_T}}$. Граничные условия

для внешней цепи рассматриваемой установки имеют вид

$$\begin{cases} V_T(0) = V_0^T - Z_0^T I_T(0); \\ V_T(L) = Z_L^T I_T(L), \end{cases} \quad (3)$$

где V_0^T – выходное напряжение генератора, прикладываемое к внешней поверхности оплетки и внутренней поверхности трубы; L – длина кабеля. Применяя условия (3) к решениям (2), получаем следующие выражения для констант интегрирования:

$$I_T(0) = \frac{V_0^T \operatorname{ch} \gamma_T L + \frac{Z_L^T}{Z_B^T} V_0^T \operatorname{sh} \gamma_T L}{Z_B^T \operatorname{ch} \gamma_T L + \frac{Z_L^T Z_0^T}{Z_B^T} \operatorname{sh} \gamma_T L + Z_0^T \operatorname{ch} \gamma_T L + Z_B^T \operatorname{sh} \gamma_T L}; \quad (4)$$

$$V_s(0) = \frac{V_0^T Z_L^T \operatorname{ch} \gamma_T L + Z_B^T V_0^T \operatorname{sh} \gamma_T L}{Z_L^T \operatorname{ch} \gamma_T L + \frac{Z_L^T Z_0^T}{Z_B^T} \operatorname{sh} \gamma_T L + Z_0^T \operatorname{ch} \gamma_T L + Z_B^T \operatorname{sh} \gamma_T L}, \quad (5)$$

которые для согласованной линии преобразуются к виду

$$I_T(0) = \frac{V_0^T}{2Z_B^T}; \quad (6)$$

$$V_s(0) = \frac{V_0^T}{2}. \quad (7)$$

Напряжение и ток на дальнем конце внешней цепи определяются аналогичными выражениями:

$$V_T(L) = \frac{V_0^T}{2}; \quad I_T(L) = \frac{V_0^T}{2Z_B^T}.$$

Таким образом, решение телеграфных уравнений, удовлетворяющее граничным условиям (3) для согласованной внешней цепи записывается следующим образом:

$$\begin{cases} V_T(x) = \frac{V_0^T}{2} (\operatorname{ch} \gamma_T x - \operatorname{sh} \gamma_T x); \\ I_T(x) = \frac{V_0^T}{2Z_B^T} (\operatorname{ch} \gamma_T x - \operatorname{sh} \gamma_T x). \end{cases} \quad (8)$$

Телеграфные уравнения, связывающие ток I_T и напряжение V_T внутренней цепи с учетом проникновения электрического поля внешней цепи, а также с учетом наведенных магнитным полем внешней цепи токов, можно представить в виде

$$\begin{cases} \frac{dV_\kappa}{dx} = -Z_\kappa I_\kappa + Z_{\text{св}} I_T; \\ \frac{dI_\kappa}{dx} = -Y_\kappa V_\kappa + Y_{\text{св}} V_T, \end{cases} \quad (9)$$

где $Z_\kappa = R_\kappa + j\omega L_\kappa$, где R_κ , G_κ – соответственно погонные сопротивление и индуктивность внутренней цепи; $Y_\kappa = G_\kappa + j\omega C_\kappa$, где G_κ , C_κ – соответственно погонные проводимость изоляции и емкость; $Z_{\text{св}}$ – сопротивление свя-

зи; $Y_{\text{св}}$ – проводимость связи. Решение уравнений (9) выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} V_\kappa(x) = V_\kappa(0) \operatorname{ch} \gamma_\kappa x - Z_B^\kappa I_\kappa(0) \operatorname{sh} \gamma_\kappa x + \hat{V}_B^\kappa(x) + \hat{I}_T^\kappa(x); \\ I_\kappa(x) = I_\kappa(0) \operatorname{ch} \gamma_\kappa x - \frac{1}{Z_B^\kappa} V_\kappa(0) \operatorname{sh} \gamma_\kappa x + \hat{V}_T^\kappa(x) + \hat{I}_B^\kappa(x). \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{Здесь } \gamma_\kappa = \sqrt{Z_\kappa Y_\kappa}; \quad Z_B^\kappa = \sqrt{\frac{Z_\kappa}{Y_\kappa}};$$

$$\hat{V}_B^\kappa(x) = Z_{\text{св}} \int_0^x I_T(\xi) \operatorname{ch} \gamma_\kappa(x - \xi) d\xi; \quad (11)$$

$$\hat{I}_T^\kappa(x) = -Y_{\text{св}} Z_B^\kappa \int_0^x V_T(\xi) \operatorname{sh} \gamma_\kappa(x - \xi) d\xi; \quad (12)$$

$$\hat{V}_T^\kappa(x) = -\frac{Z_T}{Z_B^\kappa} \int_0^x I_T(\xi) \operatorname{sh} \gamma_\kappa(x - \xi) d\xi; \quad (13)$$

$$\hat{I}_B^\kappa(x) = Z_B^\kappa Y_{\text{св}} \int_0^x V_T(\xi) \operatorname{ch} \gamma_\kappa(x - \xi) d\xi. \quad (14)$$

Граничные условия для внутренней цепи формулируются следующим образом:

$$\begin{cases} V_\kappa(0) = -Z_0^\kappa I_\kappa(0); \\ V_\kappa(L) = Z_L^\kappa I_\kappa(L). \end{cases} \quad (15)$$

Подстановка решений (10) в (15) дает выражения

$$I_\kappa(0) = \frac{\hat{V}_B^\kappa(L) + \hat{I}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{V}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{I}_B^\kappa(L)}{Z_0^\kappa \operatorname{ch} \gamma_\kappa L + Z_B^\kappa \operatorname{sh} \gamma_\kappa L + Z_L^\kappa \operatorname{ch} \gamma_\kappa L + \frac{Z_L^\kappa Z_0^\kappa}{Z_B^\kappa} \operatorname{sh} \gamma_\kappa L}; \quad (16)$$

$$V_\kappa(0) = -Z_0^\kappa \times \frac{\hat{V}_B^\kappa(L) + \hat{I}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{V}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{I}_B^\kappa(L)}{Z_0^\kappa \operatorname{ch} \gamma_\kappa L + Z_B^\kappa \operatorname{sh} \gamma_\kappa L + Z_L^\kappa \operatorname{ch} \gamma_\kappa L + \frac{Z_L^\kappa Z_0^\kappa}{Z_B^\kappa} \operatorname{sh} \gamma_\kappa L}. \quad (17)$$

Для согласованной внутренней цепи (16) и (17) преобразуются к более простому виду

$$I_\kappa(0) = \frac{\hat{V}_B^\kappa(L) + \hat{I}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{V}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{I}_B^\kappa(L)}{2Z_B^\kappa (\operatorname{ch} \gamma_\kappa L + \operatorname{sh} \gamma_\kappa L)}; \quad (18)$$

$$V_\kappa(0) = -\frac{\hat{V}_B^\kappa(L) + \hat{I}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{V}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{I}_B^\kappa(L)}{2(\operatorname{ch} \gamma_\kappa L + \operatorname{sh} \gamma_\kappa L)}. \quad (19)$$

Подставляя (18) и (19) в (10), получаем

$$\begin{cases} V_\kappa(x) = -\frac{\hat{V}_B^\kappa(L) + \hat{I}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{V}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{I}_B^\kappa(L)}{2(\operatorname{ch} \gamma_\kappa L + \operatorname{sh} \gamma_\kappa L)} \times \\ \times (\operatorname{ch} \gamma_\kappa x + \operatorname{sh} \gamma_\kappa x) + \hat{V}_B^\kappa(x) + \hat{I}_T^\kappa(x); \\ I_\kappa(x) = \frac{\hat{V}_B^\kappa(L) + \hat{I}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{V}_T^\kappa(L) - Z_L^\kappa \hat{I}_B^\kappa(L)}{2(\operatorname{ch} \gamma_\kappa L + \operatorname{sh} \gamma_\kappa L)} \times \\ \times (\operatorname{ch} \gamma_\kappa x + \operatorname{sh} \gamma_\kappa x) + \hat{V}_T^\kappa(x) + \hat{I}_B^\kappa(x). \end{cases} \quad (20)$$

Из уравнений (20) можно получить выражение для определяемой на опыте разности потенциалов между жилой и экраном на конце кабеля:

$$V_\kappa(L) = \frac{1}{2} (\hat{V}_B^\kappa(L) + \hat{I}_T^\kappa(L) + Z_L^\kappa \hat{V}_T^\kappa(L) + Z_L^\kappa \hat{I}_B^\kappa(L)). \quad (21)$$

Производя интегрирование в (11)–(14), получаем

$$\begin{aligned} \hat{V}_B^\kappa(L) &= \frac{Z_{\text{св}}}{2Z_B^\kappa} V_0^T \times \\ &\times \frac{(\gamma_T \operatorname{sh} \gamma_T L - \gamma_\kappa \operatorname{sh} \gamma_\kappa L) + \gamma_T (\operatorname{ch} \gamma_\kappa L - \operatorname{ch} \gamma_T L)}{\gamma_T^2 - \gamma_\kappa^2}, \end{aligned} \quad (22)$$

$$\hat{I}_T^k(L) = Z_B^k Y_{cb} \times \frac{V_0^T \gamma_k (\text{ch } \gamma_k L - \text{ch } \gamma_T L) - \gamma_T \text{sh } \gamma_k L + \gamma_k \text{sh } \gamma_T L}{\gamma_T^2 - \gamma_k^2}; \quad (23)$$

$$\hat{V}_T^k(L) = \frac{Z_{cb}}{2(Z_B^T)^2} V_0^T \times \frac{\gamma_k \text{sh } \gamma_T L - \gamma_T \text{sh } \gamma_k L + \gamma_k (\text{ch } \gamma_k L - \text{ch } \gamma_T L)}{\gamma_T^2 - \gamma_k^2}. \quad (24)$$

$$\hat{I}_B^k(L) = Y_{cb} \frac{V_0^T}{2} \times \frac{\gamma_T \text{sh } \gamma_T L - \gamma_k \text{sh } \gamma_k L + \gamma_T (\text{ch } \gamma_k L - \text{ch } \gamma_T L)}{\gamma_T^2 - \gamma_k^2}. \quad (25)$$

Подставляя теперь (22)–(25) в (21), имеем при условии согласования волновых сопротивлений внешней и внутренней цепей выражение

$$V_k(L) = \frac{1}{4} V_0^T \frac{1}{\gamma_T - \gamma_k} \left(\frac{Z_{cb}}{Z_B^T} + Z_B^T Y_{cb} \right) \times (\text{ch } \gamma_k L - \text{ch } \gamma_T L + \text{sh } \gamma_T L - \text{sh } \gamma_k L). \quad (26)$$

В рассматриваемом случае коэффициентами затухания α_k, α_T можно пренебречь по сравнению с коэффициентами фаз β_k, β_T ($\gamma_T = \alpha_T + j\beta_T, \gamma_k = \alpha_k + j\beta_k$). В связи с этим выражение (26) переписывается следующим образом:

$$V_k(L) = \frac{1}{4} V_0^T \frac{1}{j\beta_T - j\beta_k} \left(\frac{Z_{cb}}{Z_B^T} + Z_B^T Y_{cb} \right) \times (\text{ch } j\beta_k L - \text{ch } j\beta_T L + \text{sh } j\beta_T L - \text{sh } j\beta_k L). \quad (27)$$

Отделяя в (26) вещественную часть от мнимой, получаем

$$V_k(L) = \frac{1}{4} V_0^T \frac{1}{\beta_T - \beta_k} \left(\frac{Z_{cb}}{Z_B^T} + Z_B^T Y_{cb} \right) \times (\sin \beta_T L - \sin \beta_k L + j(\cos \beta_T L - \cos \beta_k L)). \quad (28)$$

На опыте измеряется абсолютная величина выражения разности потенциалов. Поэтому необходимо вычислить модуль выражения (28).

$$\left| \frac{V_k(L)}{V_0^T} \right| = \frac{1}{4(\beta_T - \beta_k)} \left(\frac{Z_{cb}}{Z_B^T} + Z_B^T Y_{cb} \right) \times \sqrt{(\sin \beta_k L - \sin \beta_T L)^2 + (\cos \beta_T L - \cos \beta_k L)^2}. \quad (29)$$

После простых преобразований получаем

$$\left| \frac{V_k(L)}{V_0^T} \right| = \frac{1}{2} \left(\frac{Z_{cb}}{Z_B^T} + Z_B^T Y_{cb} \right) \frac{\sin \frac{(\beta_k - \beta_T)L}{2}}{(\beta_k - \beta_T)}. \quad (30)$$

Аналогично для напряжения на ближнем конце кабеля имеем формулу

$$\frac{V_k(0)}{V_0^T} = \frac{1}{2} \left(\frac{Z_{cb}}{Z_B^T} - Z_B^T Y_{cb} \right) \frac{\sin \frac{(\beta_T + \beta_k)L}{2}}{(\beta_T + \beta_k)}.$$

Фазовые постоянные выглядят следующим образом:

$$\beta_T = \omega \sqrt{L_T C_T}, \quad \beta_k = \omega \sqrt{L_k C_k}, \quad (31)$$

где $\omega = 2\pi f$, f – частота сигнала. Ниже записаны выражения для емкостей и индуктивностей:

$$L_T = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{r_T}{r_o}; \quad L_k = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{r_o}{r_{ж}}; \quad C_T = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_{из}^T}{\ln \frac{r_T}{r_o}}; \quad C_k = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_{из}^k}{\ln \frac{r_o}{r_{ж}}}, \quad (32)$$

где r_T – радиус трубы, r_o – радиус экрана, $r_{ж}$ – радиус жилы, $\epsilon_{из}^T$ – диэлектрическая проницаемость изолятора, заполняющего пространство между трубой и экраном, $\epsilon_{из}^k$ – диэлектрическая проницаемость изолятора кабеля, $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{М} \cdot \text{КГ}}{\text{с}^2 \text{А}^2}$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{с}^4 \text{А}^2}{\text{М}^3 \cdot \text{КГ}}$.

С помощью этих выражений для фазовых постоянных окончательно имеем

$$\beta_T = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{из}^T}, \quad \beta_k = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{из}^k}. \quad (33)$$

Тогда сопротивление связи определится следующим образом:

$$Z_{cb} = 2Z_B^T \left| \frac{V_k(L)}{V_0^T} \right| \frac{\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} (\sqrt{\epsilon_{из}^k} - \sqrt{\epsilon_{из}^T})}{\sin \frac{\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} (\sqrt{\epsilon_{из}^k} - \sqrt{\epsilon_{из}^T}) L}{2}} - (Z_B^T)^2 Y_{cb}. \quad (34)$$

Поскольку измерения проводятся для сравнительно низкого диапазона частот (до 100 МГц), второе слагаемое в (34) можно отбросить. Как пример, рассмотрим случай, когда пространство между кабелем и трубой заполнено воздухом, тогда из (34) следует формула

$$Z_{cb} = 2Z_B^T \left| \frac{V_k(L)}{V_0^T} \right| \frac{\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} (\sqrt{\epsilon_{из}^k} - 1)}{\sin \frac{\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} (\sqrt{\epsilon_{из}^k} - 1) L}{2}}. \quad (35)$$

При отсутствии хорошего согласования волновых сопротивлений внутренней и внешней цепей, что является более частым случаем при испытании оплеток, не входящих в состав кабеля со стандартным волновым сопротивлением, проделывая указанные выше аналогичные преобразования, получаем следующее выражение для сопротивления связи:

$$Z_{cb} = 4Z_B^T \frac{V_k(L)}{V_0^T} \frac{\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} (\epsilon_{из}^k - 1)}{\eta(\omega)}, \quad (36)$$

где

$$\eta(\omega) = \left\{ \begin{aligned} & \left(\frac{Z_B^k}{Z_B^T} + \sqrt{\epsilon_{из}^k} \right)^2 \sin^2 \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{из}^k} L - \\ & - 2 \left(\sqrt{\epsilon_{из}^k} \frac{Z_B^k}{Z_B^T} + 1 \right) \left(\frac{Z_B^k}{Z_B^T} + \sqrt{\epsilon_{из}^k} \right) \times \\ & \times \sin \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} L \sin \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{из}^k} L + \\ & + \left(\frac{Z_B^k}{Z_B^T} + \sqrt{\epsilon_{из}^k} \right)^2 \times \\ & \times \left(1 + \cos^2 \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{из}^k} L - 2 \cos \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} L \cos \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{из}^k} L \right) \end{aligned} \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (37)$$

Таким образом, в зависимости от качества согласования внутренней и внешней цепи для расчета сопротивления связи можно использовать либо формулу (35), либо формулу (36).

Для исследования экранирующих свойств оплеток коаксиального кабеля использовалась малая триаксиальная линия (МТЛ), внешний вид которой изображен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид конструкции МТЛ в сборе

Работа МТЛ организована следующим образом. К верхнему наконечнику, связанному с внешней цепью триаксиальной линией, подключается генератор сигнала синусоидальной формы для создания электромагнитного поля помех на испытуемом кабеле. Нижний наконечник, связанный с внутренней цепью, соединяется с входом анализатора спектра для снятия амплитуды напряжения наведенного помехонесущего поля. Процесс измерений автоматизирован и управляется с помощью программного комплекса, установленного на компьютере оператора. Графики зависимости сопротивления связи сплошного медного экрана и оплетки ПМЛ-6х10-УЗ от частоты сигнала приведены на рис. 3.

Из сравнения графиков рис. 3 видно, что для сплошного медного экрана сопротивление связи на порядок ниже, чем для оплетки ПМЛ, как и должно быть, поскольку экранирующие свойства кабельного экрана

тем выше, чем ниже сопротивление связи. На графиках сопротивление связи растет, что говорит о снижении экранирующих свойств материалов с ростом частоты.

Библиографические ссылки

1. Ефимов И. Е., Останькович Г. А. Радиочастотные линии передачи : учеб. пособие. М. : Связь, 1977.
2. Гольдштейн А. А., Еременко П. Е. Триаксиальная линия для измерения сопротивления связи среднегабаритных коаксиальных кабелей : патент РФ № 4376957, 1990.
3. Sali S. A matched triaxial device for cable shielding measurements // Progress In Electromagnetics Research, PIER 45. 2004. P. 21–44.
4. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики : учеб. пособие. 5-е изд. М. : Наука, 1977.

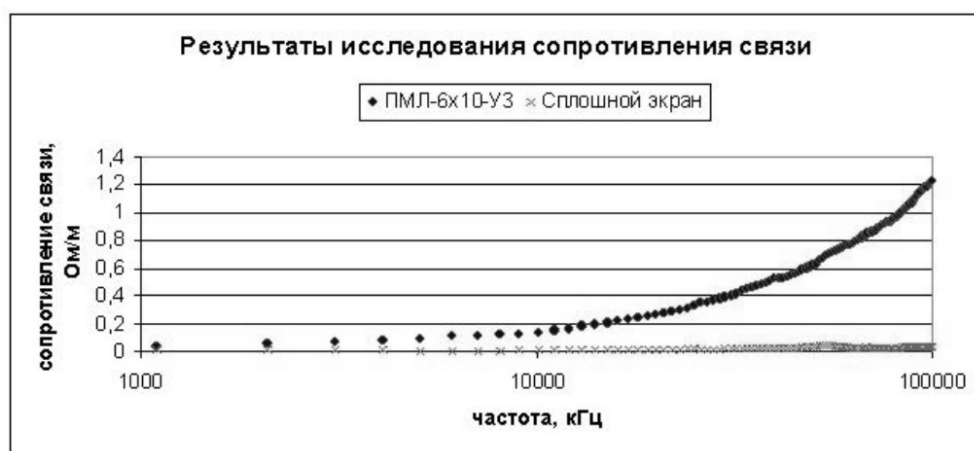


Рис. 3. Зависимость сопротивления связи сплошного медного экрана от частоты сигнала

A. Yu. Vlasov, D. A. Bolshakov, R. V. Avakumov

STUDY OF SHIELDING MATERIALS COUPLING RESISTANCE

Coupling resistance of shielding materials is investigated at frequency range of 0,1–100 MHz. Triaxial method was used for the study. Investigation was carried out by triaxial measuring system developed by Science-Education Center «Space Systems and Technologies» of Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev.

Keywords: triaxial method, coupling resistance.

© Власов А. Ю., Большаков Д. А., Авакумов Р. В., 2010

И. В. Макаров

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕТА КОМПЛЕКСА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА*

Рассматривается подход к имитационному моделированию полета летательного аппарата для отработки программного обеспечения его автоматического пилотирования при разработке бортового комплекса управления беспилотного летательного аппарата. Представлен пример программно-аппаратной реализации подхода, а также результаты моделирования полета.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, бортовой комплекс управления, автопилот.

Развитие элементной базы в последнем десятилетии, прежде всего в области микромеханических инерциальных датчиков, определило бурное развитие по всему миру коммерческих комплексов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для задач дистанционного зондирования земли и наблюдения. В условиях несформированного спроса и соответственно рынка на данные продукты развитие осуществляется по различным направлениям: в области эргономики, уменьшение массогабаритных характеристик, минимизация цены, совершенствование конструкции, совершенствование комплекса управления, повышение степени информационной автономности летательного аппарата. Последнее осуществляется за счет совершенствования бортового комплекса управления (БКУ), прежде всего, в области программного обеспечения.

Данная статья излагает подход к организации тестирования алгоритмов пилотирования в форме имитационного моделирования объекта управления – самолета. Кроме этого освещаются вопросы оптимальной разработки программного обеспечения для БКУ.

При решении задачи разработки БПЛА с максимальной взлетной массой от 0,5 до 10 кг предъявляются жесткие требования к массогабаритным характеристикам БКУ. Этот факт требует информационной и аппаратной централизации максимально возможного числа функций в виде единого устройства на базе единого вычислителя: инерциальная навигационная система, спутниковая навигационная система, датчики давления, интерфейсы к исполнительным устройствам и полезной нагрузке. Интеграция подобной системы осуществляется на уровне программного обеспечения, поэтому при разработке

необходим выбор структуры, позволяющей осуществить тестирование элементов ПО независимо друг от друга и при этом в лабораторных условиях.

Схема функционирования системы автопилотирования в составе БКУ в штатных условиях представлена на рис. 1. Элемент ПО, решающий навигационную задачу, непрерывно опрашивает навигационные датчики и подсистемы (например, спутниковую навигационную систему (СНС)). Результатом работы навигационного элемента системы формируется вектор решения, состоящий из линейных, угловых координат, а также скорости. В зависимости от реализации, в векторе навигационного решения могут присутствовать данные о воздушной скорости, барометрической высоте, линейных ускорениях и т. д. Программное обеспечение самолетовождения осуществляет интерпретацию полетного задания (например, маршрута) и формирует необходимые для его выполнения сигналы на исполнительные устройства.

При разработке программного обеспечения самолетовождения для бортового комплекса управления (БКУ) основной сложностью является его отладка. В общем случае она требует летных испытаний и сопряжена с риском потери летательного аппарата в случае ошибок. Для сравнительно простых формализованных постановок полетного задания отказ разработчика от моделирования может быть оправданным. Однако, для сложных многорежимных автономных систем отсутствие возможностей имитировать рабочие условия для ПО самолетовождения может многократно увеличить технические и финансовые риски проекта.

С учетом требований по централизации бортового комплекса управления средства для имитации работы уп-

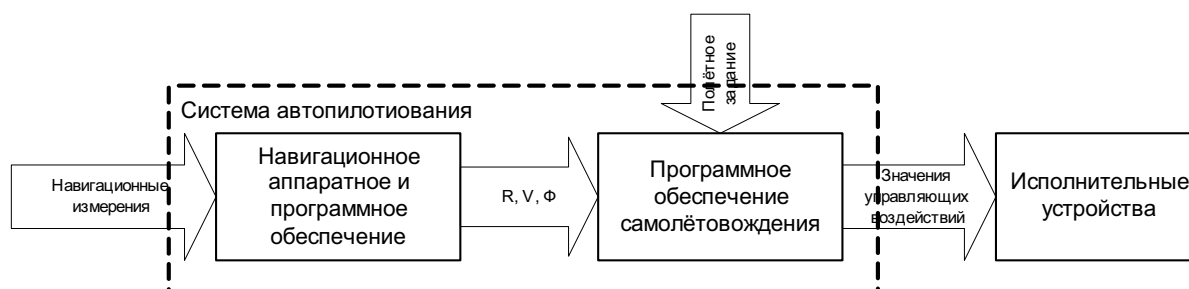


Рис. 1. Функциональная схема системы автопилотирования БПЛА

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (код проекта КФ-59).

правляемого объекта должны закладываться в бортовом программном обеспечении. Задачи непосредственного моделирования полета могут решаться как на базе бортового вычислителя, так и на базе внешней системы. В случае с внешней системой необходимо решать задачу передачи параметров моделирования. А для внутреннего вычислителя необходим определенный запас вычислительных ресурсов. С учетом требований по массогабаритным характеристикам, а также из соображений снижения цены и электропотребления предлагается использование внешних средств моделирования полета летательного аппарата (рис. 2).

Предложенная структура тестирования накладывает требования при разработке бортового ПО. Наиболее оптимальным видится подход, в котором навигационные алгоритмы могут свободным образом замещаться с реальных на виртуальные, являющиеся фактическими поставщиками информации с внешней моделирующей машины. Одновременно с навигационным решателем требуется замещать или дополнять механизмы вывода сигналов управления.

Достоинством подобного моделирования можно отнести возможность штатного функционирования остальных элементов бортового комплекса, таких как полезная нагрузка или исполнительные устройства.

Структура примера реализации предложенного подхода представлена на рис. 3. В данном случае навигационное программное обеспечение работает в операционной системе реального времени в виде отдельного процесса в защищенном режиме. Штатный режим работы навигационного процесса предусматривает опрос навигационных датчиков и систем и получение решения для трансляции телеметрии и управления. Функции управления летательным аппаратом вынесены в отдельный процесс, большинство циклов которого работают синхронно с выдачей навигационного решения. Таким образом, управляющий процесс полностью абстрагирован от источника навигационных данных. Это позволяет навигационному процессу иметь возможность вместо реаль-

ного решающего режима считывать данные с дополнительной системы, которая осуществляет моделирование. В данном случае это осуществляется через стек TCP/IP протоколов по технологическому каналу Ethernet блока автопилота.

Для вывода управляющих воздействий в процессе автоматического управления предусмотрена абстракция от конечных драйверов вывода сигналов на приводы. В данном примере два типа драйверов работают параллельно: штатный выводит сигналы в сервоприводы, а модельный транслирует требуемые относительные положения органов управления через протокол UDP в решающую систему.

Возможность штатной работы исполнительных устройств позволяет осуществлять наработку системы на отказ в целом в лабораторных условиях. При этом алгоритмы пилотирования остаются идентичными.

Процесс автоматического управления и самолетовождения осуществляет стабилизацию летательного аппарата в зависимости от режима по крену, тангажу, скорости, высоте и курсу. В данном примере система реализована в виде каскада ПИД-регуляторов (рис. 4). Интерпретатор полетного задания в зависимости от географического положения аппарата задает требуемую высоту, курс и скорость. Регулирование высоты осуществляется за счет изменения угла тангажа. Регулирование курса происходит за счет угла крена. Крен и тангаж регулируется в случае классической аэродинамической компоновки летательного аппарата элеронами и рулем высоты соответственно [1].

В качестве моделирующего программного обеспечения используется авиасимулятор с открытым исходным кодом FlightGear [2]. Данный программный продукт обладает графическим трехмерным интерфейсом, а также развитым набором инструментов для подключения внешних устройств или решателей.

Результаты имитационного моделирования полета в режиме стабилизации тангажа и крена, где периодически испытателем на вход регулятора выставляется типовое ступенчатое воздействие представлены на рис. 5. Поло-

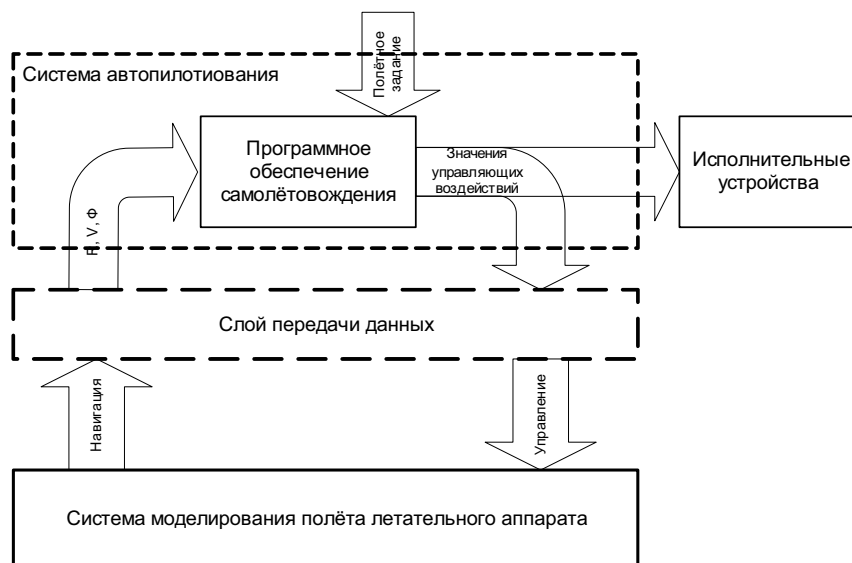


Рис. 2. Функциональная схема комплекса имитационного моделирования объекта управления для отработки программного обеспечения самолетовождения

жение элеронов для осуществления управления отражено на рис. 6.

Работа имитационного комплекса в режиме стабилизации курса и высоты представлена на рис. 7. Заданный

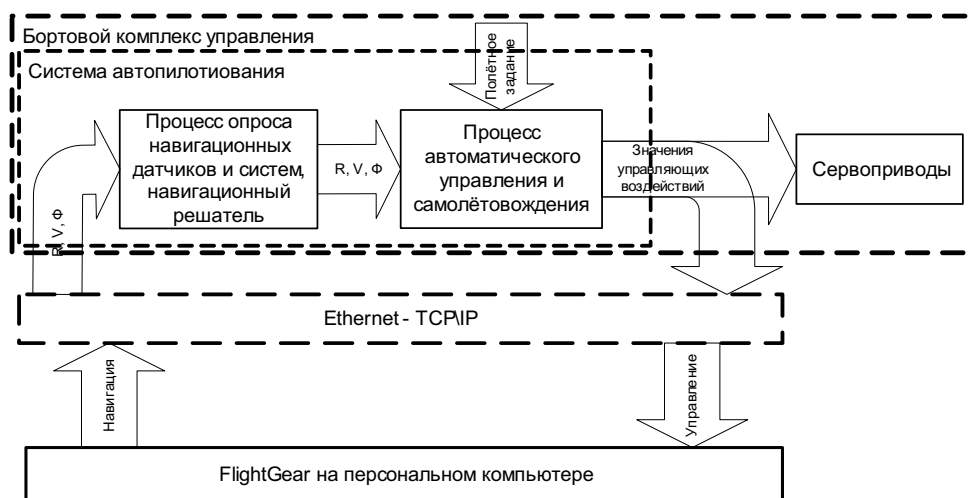


Рис. 3. Функциональная схема комплекса имитационного моделирования объекта управления для отработки программного обеспечения самолётовождения

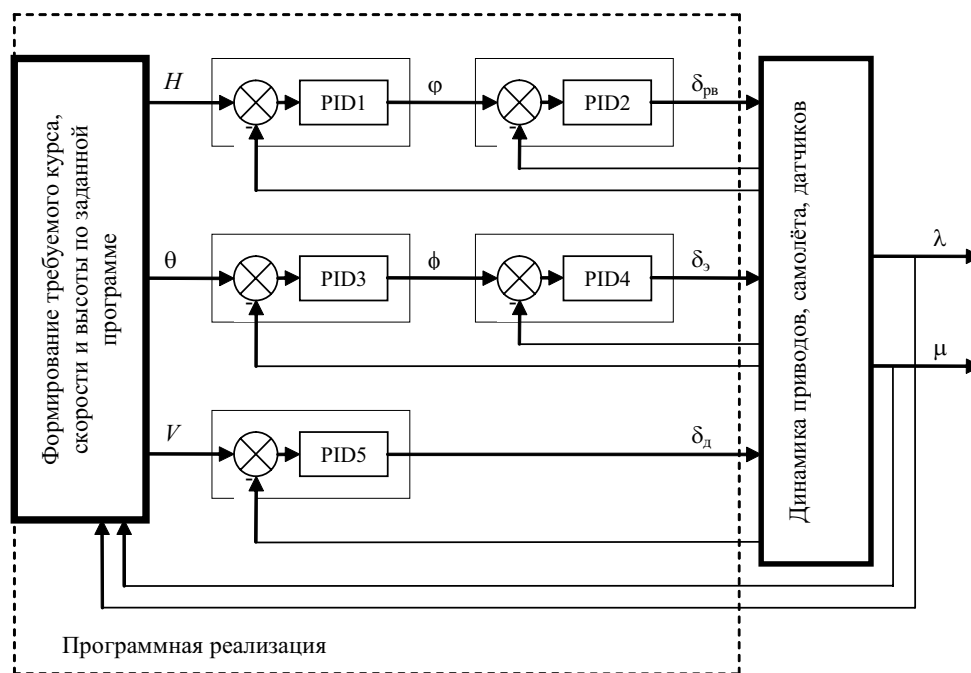


Рис. 4. Функциональная схема системы управления. Каналы управления: θ – курс; ϕ – угол крена; ϕ – угол тангажа; λ – широта; μ – долгота; $\delta_{рв}$ – угол отклонение руля высоты; δ_z – угол отклонения элеронов; δ_d – требуемая тяга двигателя

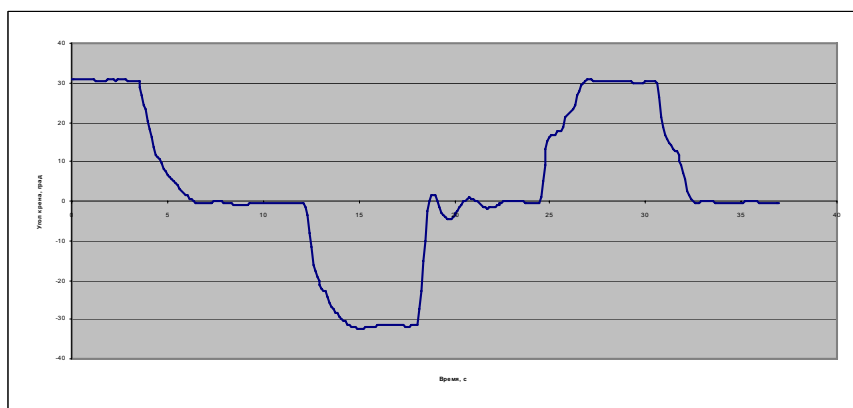


Рис. 5. График переходных процессов при смене угла крена от 30° к $0, -30$ и обратно

курс остается постоянным, а на регулятор высоты подается ступенчатое воздействие.

Траектория прохождения заданного маршрута в режиме следования по линии заданного пути (с минимиза-

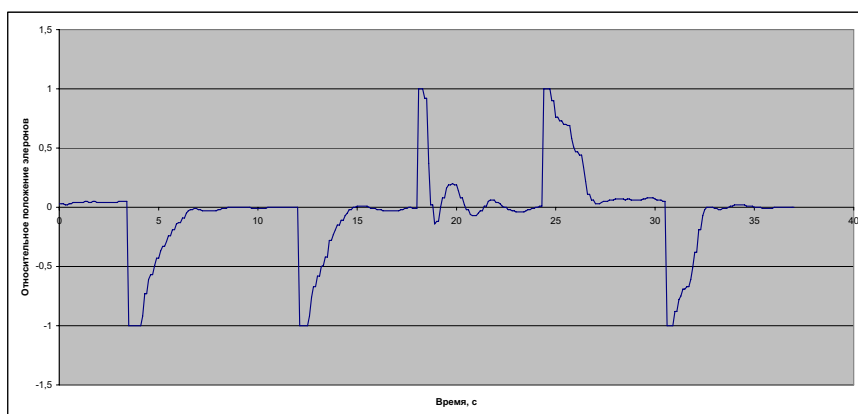


Рис. 6. График положения элеронов, соответствующий процессу регулирования

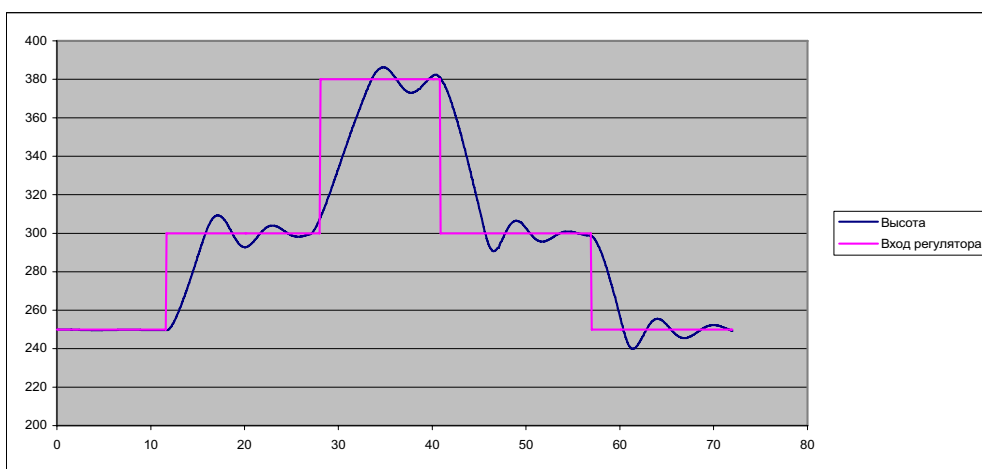


Рис. 7. График регулирования высоты в процессе имитации полета

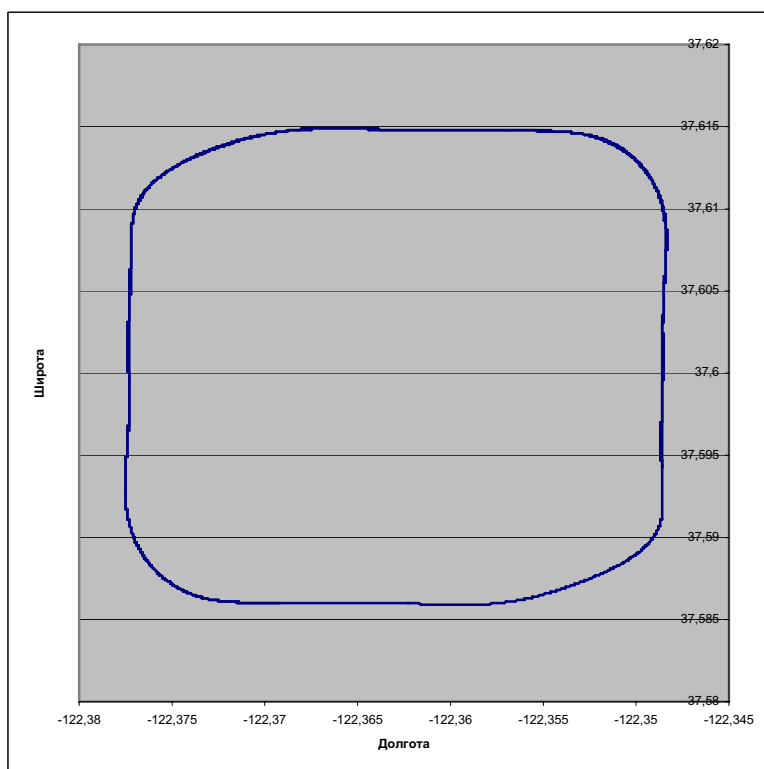


Рис. 8. Результат имитации полета по заданному замкнутому прямоугольному маршруту

ций отклонения от отрезка между поворотными пунктами маршрута) показана на рис. 8. В данном примере отработывался алгоритм выполнения упреждающего поворота, т. е. определения момента смены поворотного пункта маршрута. Угол крена в процессе следования по маршруту отражен на рис. 9.

При использовании изложенного в статье подхода, для перехода от имитационного моделирования к летным испытаниям разрабатываемых алгоритмов необходимо скорректировать только значения коэффициентов каскада ПИД-регуляторов. Это может быть выполнено как за счет подбора этих коэффициентов экспериментальным путем (при подстраховке летательного аппарата в режиме ручного управления), так и на основании расчета с учетом динамики летательного аппарата.

Представленный опыт имитационного моделирования позволил свести задачи летных испытаний только к комплексной отработке работы всех систем и агрегатов при разработке комплекса беспилотного летательного аппарата для задач видеонаблюдения и мониторинга.

Библиографические ссылки

1. Макаров И. В., Кокорин В. И. Создание блока автопилота малого беспилотного летательного аппарата // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. / ИПК СФУ. Красноярск, 2009. С. 56–59.
2. FlightGear Flight Simulator : сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.flightgear.org>.

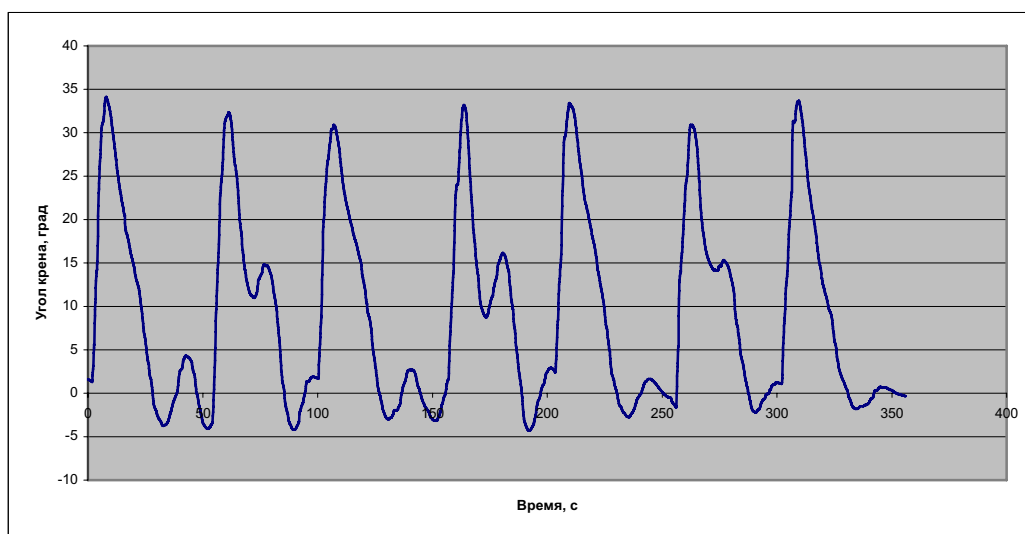


Рис. 9. График угла крена по времени в процессе имитации полета по замкнутому маршруту

I. V. Makarov

UNMANNED AERIAL VEHICLE FLIGHT SIMULATION

This paper presents an approach to flight simulation for debugging of automatic control software of unmanned aerial vehicle in the process of on-board control system development. Sample of hard-and-software realization is presented, along with the results of modeling for several aspects.

Keywords: unmanned aerial vehicle, on-board control complex, autopilot.

© Макаров И. В., 2010

АДАПТИВНАЯ ЭТАЛОННАЯ МОДЕЛЬ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА*

Рассматривается система управления с применением адаптивной эталонной модели. Для оценки изменяющихся параметров объекта и последующей адаптации эталонной модели используется блок-идентификатор, построенный с применением нечеткого логического вывода.

Ключевые слова: адаптивная эталонная модель, нечеткая логика, идентификация состояний, обучение нечеткой модели.

Введение. Для решения задачи адаптивного управления свойство адаптации достигается, чаще всего, посредством формирования в явном или неявном виде математической модели объекта или воздействия на него. При широких изменениях параметров объекта управления стационарная эталонная модель системы становится неприемлемой для решения задачи управления беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) для различных режимов полета. Для решения данной проблемы предполагается построение адаптивной эталонной модели с идентификацией, которая оценивает неизвестные параметры БПЛА. Применение нечеткой логики и адаптивных принципов построения систем управления позволяет существенно снизить влияние неопределенности на качество систем управления, компенсируя недостаток априорной информации на этапе проектирования систем.

Структура адаптивной системы управления беспилотного летательного аппарата. Рассмотрим систему автономного адаптивного управления (рис. 1), использующую в своей структуре нечеткий блок-идентификатор (БИ), ос-

новной контур, состоящий из объекта управления (ОУ) – беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и регулятора; самонастраивающуюся нечеткую эталонную модель системы (ЭМ); блок адаптации и наблюдатель $\hat{\rho}$.

Полученная система выполняет следующие задачи:

- обеспечение эталонных динамических характеристик системы управления БПЛА для всех режимов полета;
- идентификацию параметров БПЛА в полете для настройки ЭМ, при этом используется устройство с памятью;
- обеспечение компенсации внешних конечномерных возмущений, для чего используется наблюдатель, формирующий оценку возмущения $\hat{\rho}$;

- реализации алгоритма адаптации: блок адаптации реагирует на ошибку $e = y - y_3$ между сигналами с выхода ОУ и ЭМ, а также осуществляет адаптивную подстройку к изменяющимся внешним воздействиям $\rho(t)$.

Далее рассмотрим более подробно нечеткий блок-идентификатор (БИ).

Нечеткий блок-идентификатор. С целью оценки параметров ЛА предполагается использовать адаптивную

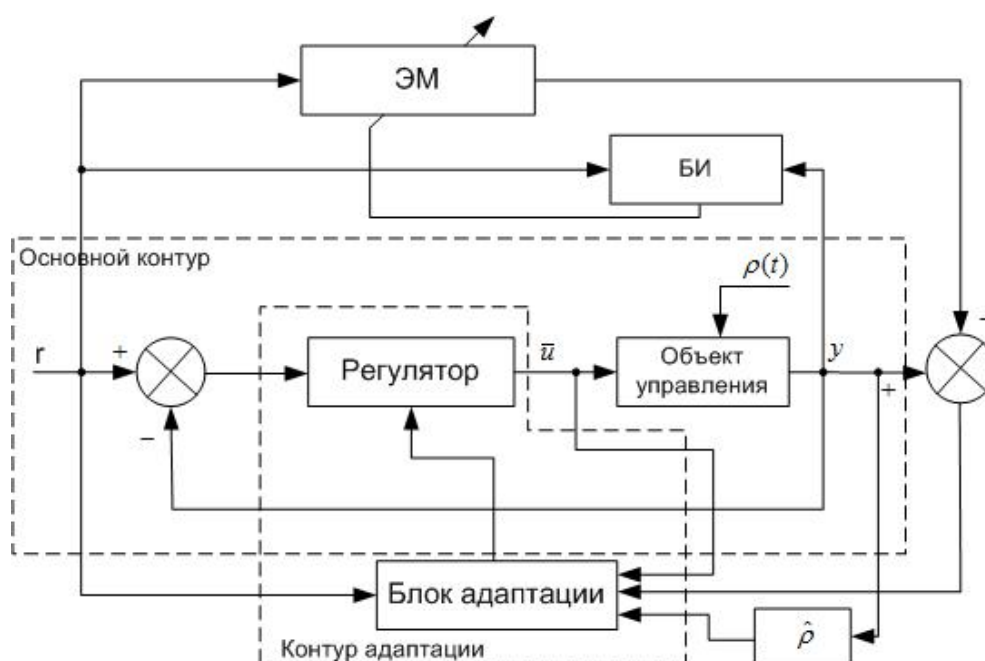


Рис. 1. Структурная схема адаптивной системы автономного управления

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (код проекта КФ-59).

модель с нечетким выводом, со структурой, приведенной на рис. 2.

Данный блок-идентификатор позволяет устранить следующие недостатки, присущие нечетким системам:

- дает возможность дополнять исходный набор правил, описывающий состояния системы управления, который формируется человеком и вследствие чего может иметь неполный набор правил, противоречивые или идентичные правила;

- оптимизировать параметры модели управления, которые изначально задаются экспертом субъективно, что снижает качество идентификации. Целенаправленное изменение параметров нечеткой модели, таких как количество, форма, относительное размещение соответствующих функций принадлежности вдоль базовых осей оказывают существенное влияние на характер идентификации.

Блок-идентификатор состоит из базы знаний, которая представляет собой совокупность информации о базе нечетких правил и множестве лингвистических переменных с соответствующими функциями принадлежности.

Работа по формированию базы знаний происходит в два этапа:

- на первом этапе база знаний формируется на основе обучающей выборки, которая состоит из параметров наблюдений с соответствующими принадлежностями классам наблюдений и доступной априорной информации об объекте у эксперта;

- на втором этапе происходит параметрическая оптимизация к дискретному изменению динамики объекта управления.

Далее блок-идентификатор формирует оптимальную аппроксимацию для входных обучающих данных $X(\vartheta, M, \delta)$, где ϑ, M, δ – угол тангажа, число Маха и угол отклонения руля высоты соответственно.

После обучения блок-идентификатор реализует следующее уравнение [1]:

$$n_y(k) = F(M(k), C[\vartheta(k), M(k), \delta(k)]), \quad (1)$$

где n_y – нормальная перегрузка; C – аэродинамический коэффициент подъемной силы.

Самонастраивающаяся нечеткая эталонная модель.

Предполагается использование такой ЭМ, которая при работе линейного регулятора, обеспечивающего устойчивость на всех режимах полета, улучшала бы качество системы управления БПЛА, используя свои адаптивные свойства совместно с блок-идентификатором (БИ).

Для этого БИ содержит следующую информацию о параметрах БПЛА:

1) динамические параметры:

- максимально допустимое перерегулирование [2]:

$$Mp_{\max} = e^{-\pi(\sqrt{1-\zeta^2})} \times 100\%; \quad (2)$$

- экстремальные значения собственной частоты (с затуханием и без затухания) $\omega_{\max d}$ и $\omega_{\max 0}$;

2) текущие значения параметров, измеряемые датчиками ДПЛА:

- текущие углы крена γ , тангажа σ , курса ψ ;

- текущая скорость $M(t)$;

3) константы максимально допустимых значений:

- максимально допустимые (если такие имеются согласно ТЗ) углы крена γ , тангажа σ , курса ψ ;

- максимально допустимая скорость $M_{\max}(t)$;

- максимально допустимые перегрузки n_x, n_y, n_z ;

- максимальные углы отклонения рулей;

4) идентифицируемые параметры:

- результат идентификации параметров БПЛА.

Далее будет рассмотрено моделирование блока-идентификатора системы управления БПЛА в ПП Simulink и Fuzzy Logic Toolbox [3–6].

Исследование работы нечеткого блока-идентификатора. Блок-идентификатор (БИ) проектировался на основе систем нечеткого вывода в Fuzzy Logic Toolbox [6].

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода будем рассматривать следующие нечеткие переменные: угол тангажа ϑ , число Маха M , отклонение руля высоты δ , а в качестве выходного параметра – оценка перегрузки ДПЛА $\hat{n}_y$. БИ моделирует зависимость (рис. 3) в соответствии с системой нечеткого вывода типа Момдами:

$$\hat{n}_y(k) = K_z M^2(k) \operatorname{sgn}(\vartheta) [\hat{a}_n |\vartheta(k)|^3 + \hat{b}_n |\vartheta(k)|^2 + \hat{c}_n (2 - M(k)/3) |\vartheta(k)|] + \hat{d}_n \delta(k), \quad (3)$$

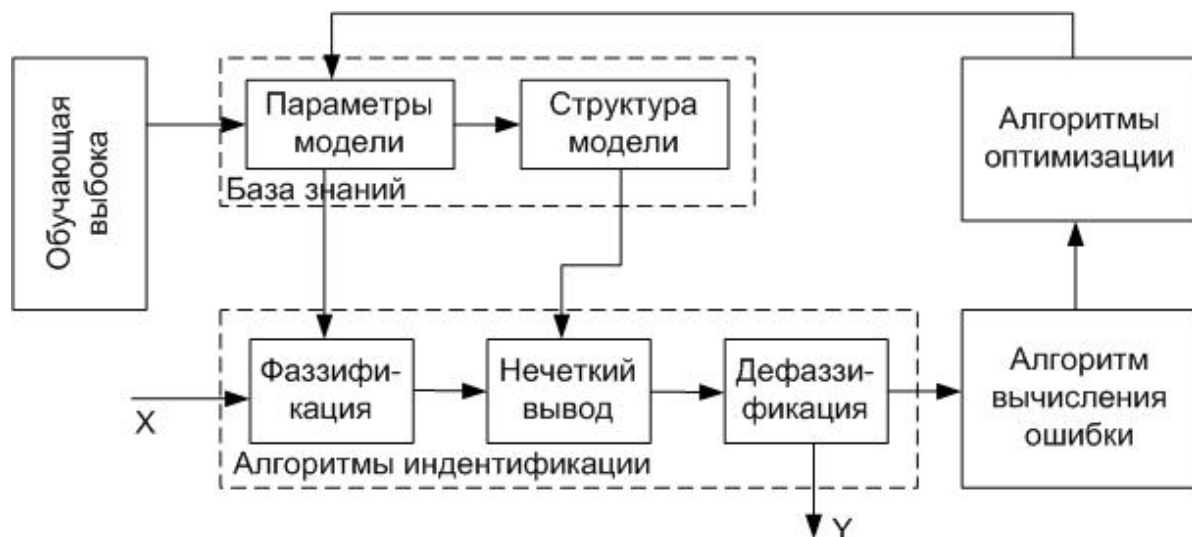


Рис. 2. Структура нечеткой модели блока идентификации

где $\vartheta(k), M(k), \delta(k)$ и $\hat{n}_y(k)$ – значения входных и выходных переменных объекта управления в дискретные моменты времени $k > 0$, $\hat{a}_n, \hat{b}_n, \hat{c}_n, \hat{d}_n$ – аэродинамические коэффициенты ДПЛА.

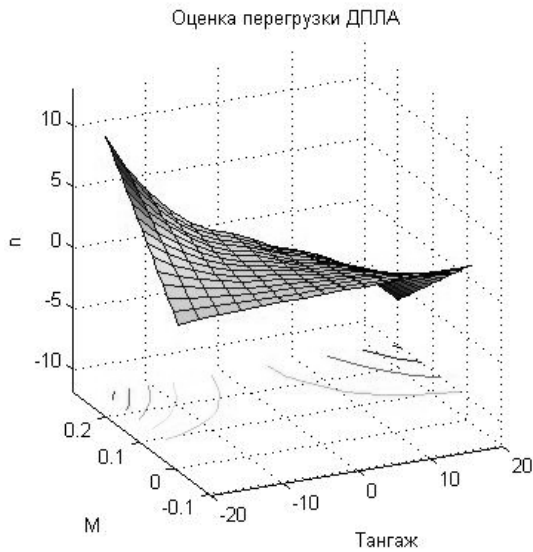


Рис. 4. Искомая зависимость: оценка перегрузки n_y ДПЛА

Область изменения входных параметров следующая: $\vartheta \in [-20; 20]$, $M \in [0; 0,2]$, $\delta \in [-20; 20]$.

Адекватность полученной нечеткой модели проверялась по следующему критерию: найти такой вектор (P, W) , чтобы [3]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{r=1, N} (y_r - F(P, W, X_r))^2} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где P – вектор параметров функций принадлежности термов входных и выходной переменных; $W \in [0; 1]$ – вектор весовых коэффициентов правил базы знаний; N – пары из обучающей выборки; X_r – входные переменные; y_r – выход системы; $F(P, W, X_r)$ – результат вывода по нечеткой базе знаний Мамдани с параметрами (P, W) при значении входов X_r .

Входы и выход нечеткой модели будем рассматривать как лингвистические переменные. Значение для переменной «угол тангажа» определяются из следующего термножества: {PH, PM, PD, C, ND, NM, BH} или {положительно высокий, положительно средний, положительно низкий, не меняется, отрицательно низкий, отрицательно средний, отрицательно высокий} для ϑ . Термы представим нечеткими множествами с гауссовыми функциями принадлежности. Возможный вид функции принадлежности для входной лингвистической переменной «угол тангажа» приведен на рис. 4.

Далее создадим лингвистическое описание параметров нечеткой модели БИ с помощью базы нечетких правил типа

$$M_i: \text{если } X_1 \text{ есть } A_{i1} \text{ и...и } X_m \text{ есть } A_{im}, \\ \text{то } Y_1 \text{ есть } D_{i1} \text{ и...и } Y_n \text{ есть } D_{in}. \quad (5)$$

Для составления и отладки базы нечетких правил использовались обучающие данные перегрузки n_y (рис. 5).

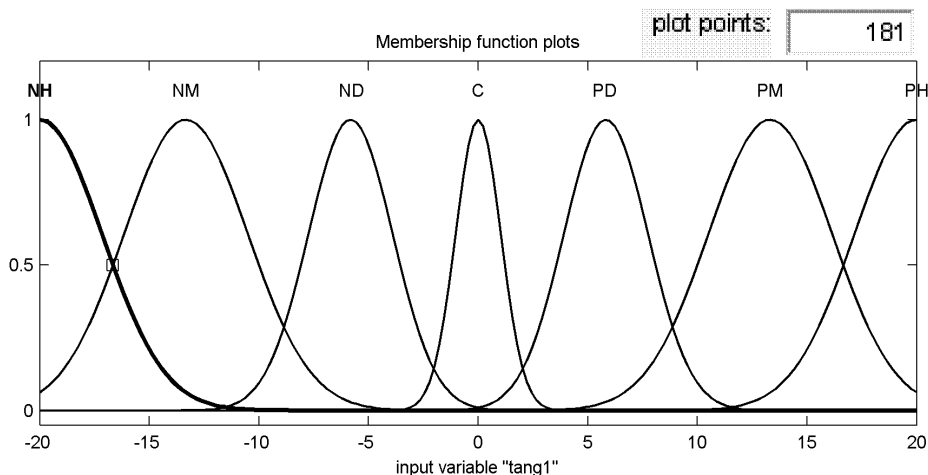


Рис. 5. Функции принадлежности переменной ϑ в Membership Function Editor

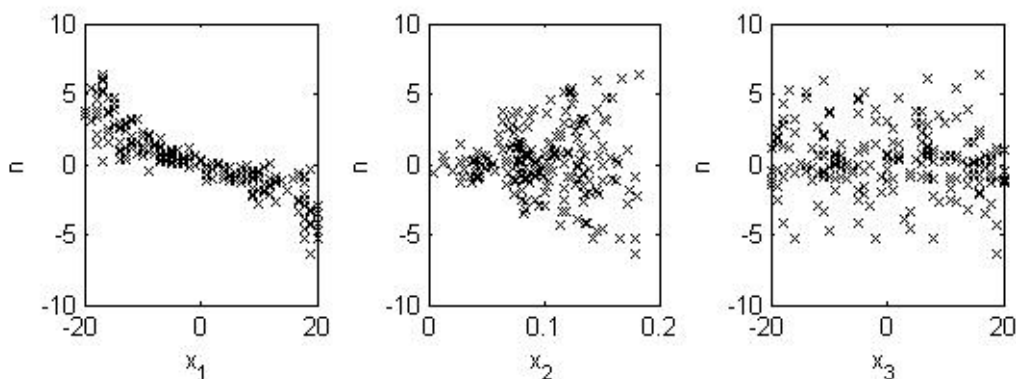


Рис. 6. Обучающая выборка для идентификации зависимости оценки перегрузки n_y от угла тангажа $\vartheta = x_1$, числа Маха $M = x_2$, отклонения руля высоты $\delta = x_3$

После обучения нечеткой базы знаний была получена зависимость идентифицируемой перегрузки $\hat{n}_y$ от входных переменных ϑ , M , δ (рис. 6).

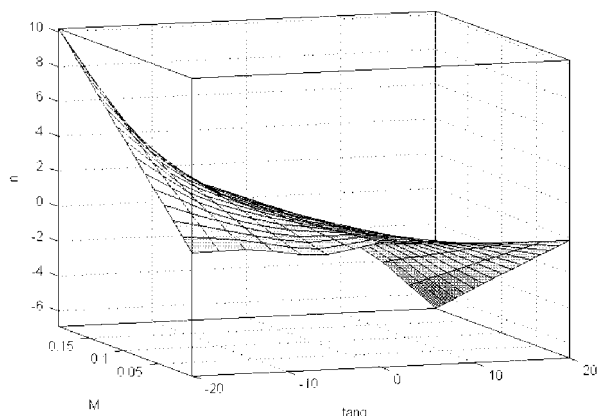


Рис. 6. Идентифицируемая перегрузка $\hat{n}_y$, tang – тангаж

Более наглядное сравнение экспериментальных данных из тестовой выборки с результатами нечеткого моделирования показаны на рис. 7.

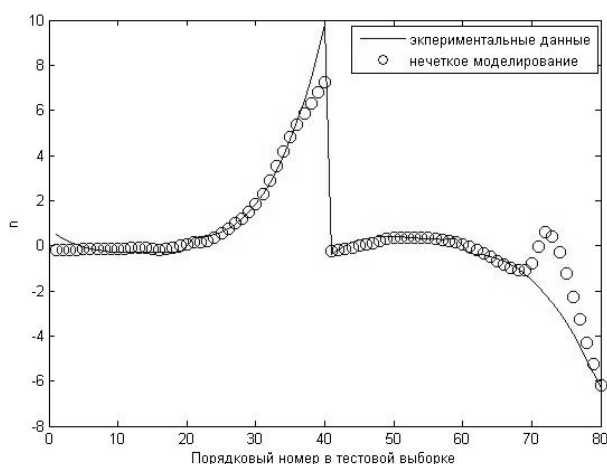


Рис. 7. Тестирование нечеткой модели БИ

Нечеткая модель описывает динамику экспериментальных данных, однако в отдельных случаях имеются значительные расхождения в оценке перегрузки $\hat{n}_y$ (см. рис. 7). Повысим точность нечеткой модели в оценке перегрузки $\hat{n}_y$ с помощью обучения нечеткой базы знаний.

Обучение нечеткой модели осуществим квазиньютоновским методом [5] Бройдена–Флетчера–Голфарбда–Шэнно на протяжении 300 итераций.

Определим, как влияет длительность обучения на адекватность нечеткой модели, для этого построим следующие зависимости (рис. 8, 9).

Значение невязки (6) с ростом количества итераций уменьшается, и после 200 итераций квадратичная ошибка моделирования на обучающей и 50 итераций на тестовой выборках равны 0,001 1 и 0,236 1 соответственно (см. рис. 8, 9). После этого ошибка на тестовой выборке начинает немного возрастать, и начиная примерно с 49 выборки проявляется эффект переобучения. Это объясняется тем, что вне точек обучения адекватность переобученной модели низкая – результаты моделирования сильно отличаются от экспериментальных данных, поэтому

рекомендуется прекращать обучение при возрастании ошибки на тестовой выборке.

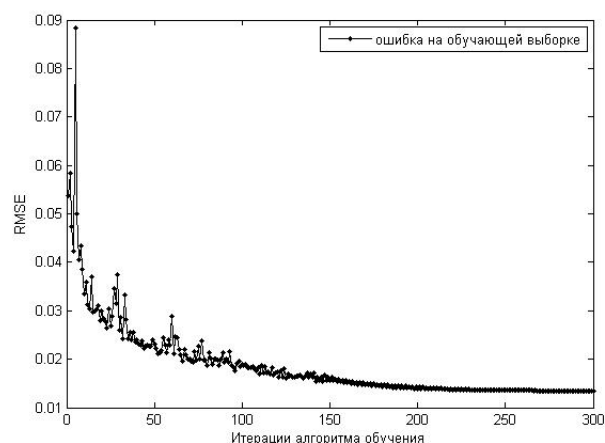


Рис. 8. Зависимость ошибок нечеткого моделирования от количества итераций обучения на обучающей выборке

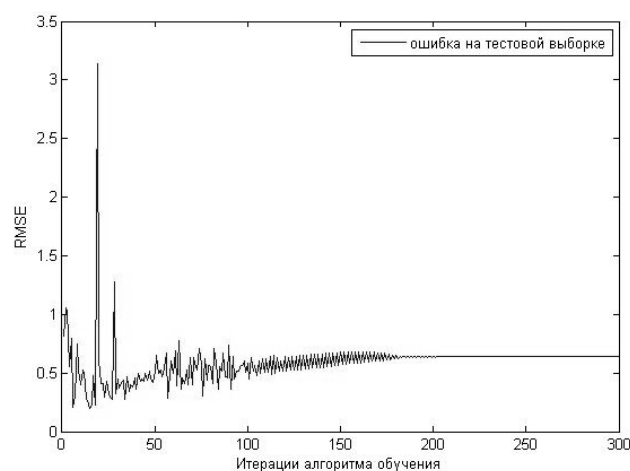


Рис. 9. Зависимость ошибок нечеткого моделирования от количества итераций обучения на тестовой выборке

После обучения и настройки нечеткой базы знаний адекватность модели заметно улучшилась (рис. 10).

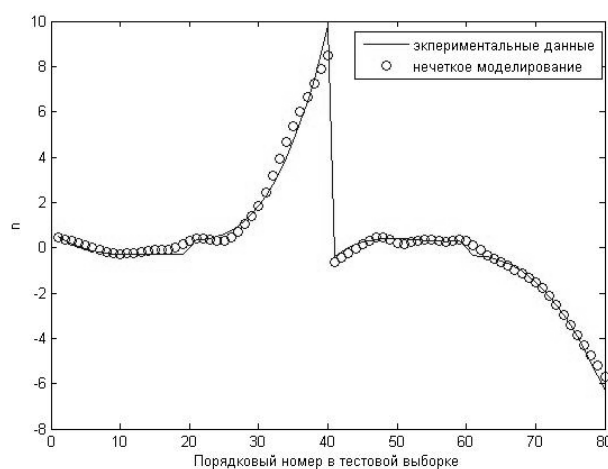


Рис. 10. Тестирование нечеткой модели БИ после настройки

Заключение. В результате исследования была показана целесообразность применения адаптивной эталонной

модели с блоком-идентификатором на нечеткой логике, которая обеспечивает адаптацию эталонной модели к широким изменениям режимов полета БПЛА.

Библиографические ссылки

1. Calise A. J. H. Lee, N. Kim. High bandwidth adaptive flight control // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. Denver, CO, 2000.
2. Ogata K. Modern control engineering. New Jersey : Prentice Hall, 1990.

3. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети. М. : Горячая линия – Телеком, 2007.
4. Дьяконов В., Круглов В. Матлаб. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. СПб. : Питер, 2001.
5. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М. : Горячая Линия – Телеком, 2007.
6. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide, Version 2.1 The MathWorks, Inc., 2001.

E. V. Matveev, V. A. Glinchikov

ADAPTIVE REFERENCE MODEL IN CONTROL SYSTEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

In the paper we consider control system with application of adaptive reference model. For identification of changing parameters of object and the subsequent adaptation of a reference model the block identifier constructed with application of an indistinct logic conclusion is used.

Keywords: adaptive reference model, indistinct logic, identification of conditions, indistinct model learning.

© Матвеев Е. В., Глинчиков В. А., 2010

УДК 629.78.064

П. И. Мельников, В. С. Кудряшов, В. И. Кузоро, Е. А. Шангина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ С КОНЦЕНТРАТОРОМ: ИДЕЯ, КОНСТРУКЦИЯ, МЕТОДИКА ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ*

Приводится описание экспериментального модуля (ЭМБС) солнечной батареи, оснащенного концентратором солнечного света в виде плоских отражателей, а также описание методики летного эксперимента на низкоорбитальном КА «Юбилейный-2».

Ключевые слова: космический аппарат, солнечные батареи.

Введение. Очевидно, что в ближайшее десятилетие для решения прикладных задач в околоземном космосе основным источником энергии по-прежнему будут солнечные батареи. Это оправдывает усилия, направленные на поиск путей дополнительного повышения их характеристик.

Для его преодоления необходимо создание упреждающего задела. Одним из наиболее перспективных способов повышения характеристик солнечных батарей является разработка новых конструкций с концентраторами солнечного света.

Применение концентраторов обеспечивает улучшение базовых показателей солнечной батареи:

- повышение удельной мощности ($\text{Вт}/\text{м}^2$, $\text{Вт}/\text{кг}$);
- снижение удельной стоимости S (руб./Вт).

Конечной целью этих усилий является достижение конкурентных преимуществ солнечных батарей (БС) для КА, разрабатываемых в ОАО «ИСС».

Для оценки практически реализуемых характеристик необходима разработка макетных образцов, проведение испытаний. Для оценки стойкости характеристик концентраторов солнечного света к факторам космического пространства (ФКП) необходимо проведение летного эксперимента [1].

В качестве первого шага по исследованию БС с концентраторами в ОАО «ИСС» было принято решение о проведении натурного эксперимента ЭМБС на КА «Юбилейный-2», запуск которого запланирован на начало 2011 г.

КА «Юбилейный-2» – микроИСЗ с одноосной системой ориентации на Землю и с неориентированной солнечной батареей. Внешний вид КА показан на рис. 1. Очевидно, что в условиях подобного КА проведение качественного летного эксперимента со статусом летной квалификации инновационных конструкций БС с концентраторами солнечного света не представляется возмож-

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

ным. Основным преимуществом использования КА «Юбилейный-2» для проведения летного эксперимента является высокая оперативность и дешевизна.

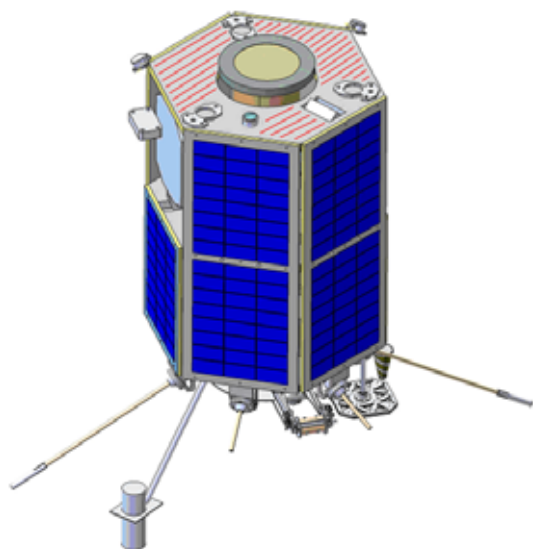


Рис. 1. Внешний вид КА «Юбилейный-2»

На выходные характеристики панели БС с концентраторами в общем случае влияют:

- воздействие факторов космического пространства, приводящие к ухудшению оптических характеристик отражателей и снижению мощности самих ФП;
- конструктивные отклонения размеров и углов от теоретических;
- отклонение лучей Солнца от нормали к поверхности ФЭП.

Учитывая ограниченные возможности, предоставляемые КА для проведения летного эксперимента (неориентированные БС, ограничения по объему ТМ-измерений и т. п.), перед летным экспериментом ставятся следующие задачи:

- определение принципиальной возможности проведения летных экспериментов с солнечными батареями на КА типа «Юбилейный»;
- качественная оценка работоспособности отражателей и стабильность их оптических характеристик в условиях космоса при воздействии внешних факторов: радиации, ультрафиолета, микрометеоритов, загрязнения собственной атмосферой КА и т. п.

Внешний вид ЭМБС. Состав. Вид 3D-модели ЭМБС приведен на рис. 2.

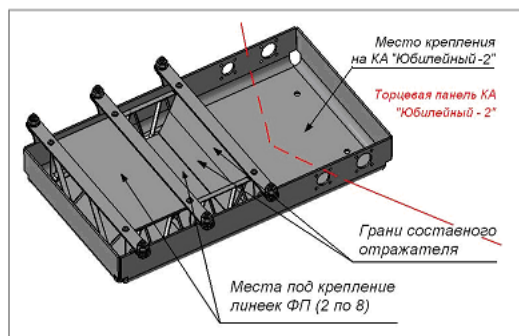


Рис. 2. Вид 3D-модели ЭМБС

Внешний вид изготовленного модуля приведен на рис. 3.

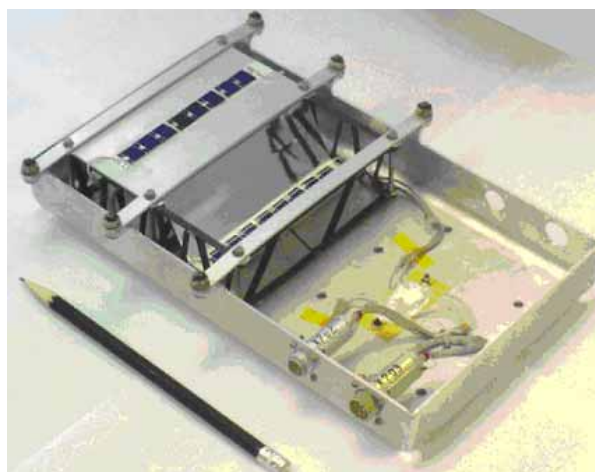


Рис. 3. Внешний вид ЭМБС

ЭМБС состоит из следующих частей:

- 1) испытываемая часть, включающая в себя:
 - каркас;
 - плоские отражатели;
 - 8 ФЭП из трехкаскадного арсенида галлия размером 10×10 , соединенных последовательно;
- 2) контрольная часть, состоящая из аналогичной цепочки ФЭП, но без отражателей;
- 3) блок-резисторов;
- 4) два датчика температуры;
- 5) соединители:
 - силовой соединитель;
 - соединитель для передачи данных с датчиков температуры.

Особенности конструкции. Выбор профиля концентратора ограничивался габаритами углепластикового каркаса, который имеет размеры профиля $30(\text{высота}) \times 50(\text{ширина})$.

При проведении расчетов были определены наиболее оптимальные профили концентраторов, позволяющие получить максимальные коэффициенты концентрации при данных габаритах.

Оптимальным представляется вариант с плоским составным концентратором с углами наклона плоскостей 60° и 65° (рис. 4).

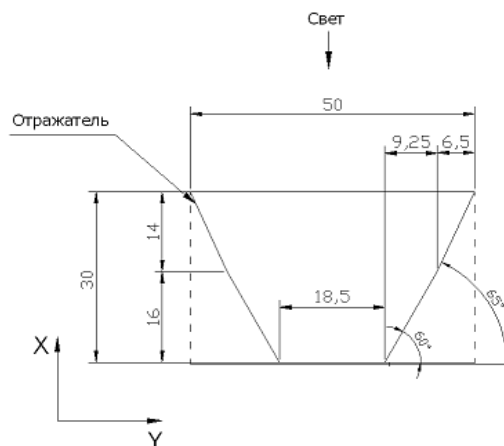


Рис. 4. Вариант с плоским составным концентратором

Для уменьшения зависимости выходных характеристик модуля от точности ориентации и ввиду отсутствия необходимости в получении максимальных удельных характеристик (в рамках эксперимента) была установлена линия из ФЭП с габаритами меньшими, чем зона, на которую происходит концентрация света. При таком исполнении весь отражающий свет при точности ориентации не хуже 5° гарантированно попадает на ФЭП.

Общий вид модуля представлен на рис. 5.

Электрический интерфейс. При проведении эксперимента необходимо получить данные о значениях следующих параметров:

- напряжение испытуемого образца $U_{\text{и}}$;
- напряжение контрольного образца $U_{\text{к}}$;
- температура испытуемого образца;
- температура контрольного образца.

Примерный вид ВАХ ЭМБС приведен на рис. 6.

Функциональная электрическая схема ЭМБС представлена на рис. 7.

Методика летного эксперимента. Из-за неориентируемой БС проведение эксперимента значительно усложняется.

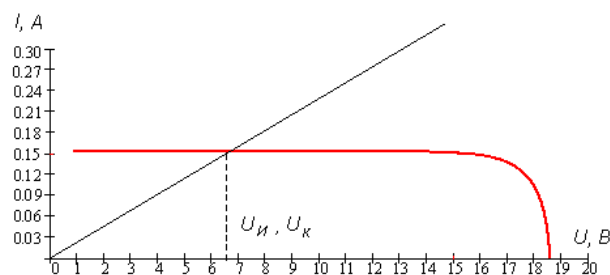


Рис. 6. Вид ВАХ ЭМБС

ОАО «ИСС» была проведена проработка возможности проведения эксперимента в отсутствии ориентируемой солнечной батареи. Далее приводятся результаты проработки.

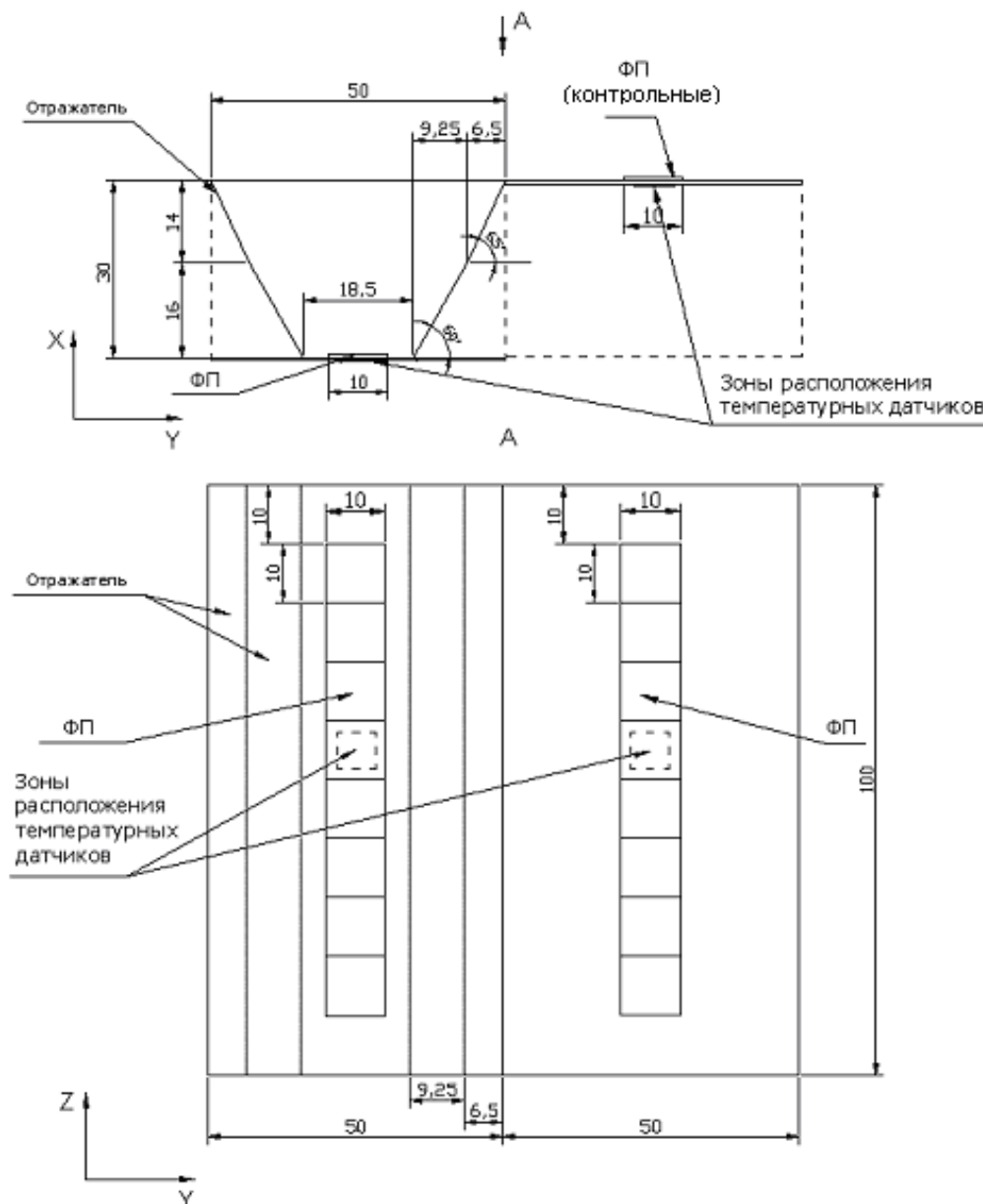


Рис. 5. Общий вид модуля

При отклонении нормали к поверхности ФЭП от нормали на Солнце даже на малые углы происходит значительное уменьшение коэффициента концентрации. Поэтому точность ориентации панели с концентратором на Солнце при проведении эксперимента должна быть не менее 5° .

Учитывая требования по точности ориентации к условиям проведения эксперимента, а также конструктивные особенности КА «Юбилейный-2», наиболее приемлемым вариантом проведения экспериментов является установка модулей с концентраторами (ЭМБС) на торцевую часть КА по оси «+X» (см. рис. 1).

При этом съем ТМИ имеет смысл производить только в 10 витков до витка с максимальной тенью Земли и 10 витков после витка с максимальной тенью Земли.

В эти 20 витков КА «Юбилейный-2» находится в диапазоне $\pm 3,4$ мин ($\pm 10^\circ$) от точки, ближайшей к Солнцу (рис. 8).

Данный диапазон витков является максимальным, внутри которого теоретически возможно получение точности ориентации лучше 5° .

Причем в двух крайних витках диапазона точность ориентации лучше 5° возможна в случае выполнения следующих условий:

- при отклонении аппарата в момент времени $-3,4$ мин на угол $+5^\circ$ (исходя из допуска на точность ориентации);
- при отклонении аппарата в момент времени $+3,4$ мин на угол -5° .

Эти случаи являются максимально благоприятными, так как происходит компенсация отклонения орбитального угла углом максимального отклонения от ориентации на Землю.

Очевидно на практике точность ориентации лучше 5° не будет достигаться внутри всего диапазона $\pm 10^\circ$. Поэтому при обработке данных предполагается отбрасывать значительную часть из них, установив порог по значениям.

Выводы. Проведение летного эксперимента с ЭМБС запланировано в течении срока активного существования КА. По результатам, полученным в ходе летных испытаний, будет сделан вывод о работоспособности отражателей и стабильности их оптических характеристик в условиях космоса.

Данные, полученные в ходе испытаний, будут использованы для планирования экспериментов с более представительными образцами БС на КА с ориентированными солнечными батареями.

Библиографическая ссылка

1. Кудряшов В. С., Базилевский А. Б. Конспект лекций программы учебного семинара по теме «Разработка СЭП с повышенной мощностью и КПД для КА» / ОАО ИСС. Красноярск, 2004.

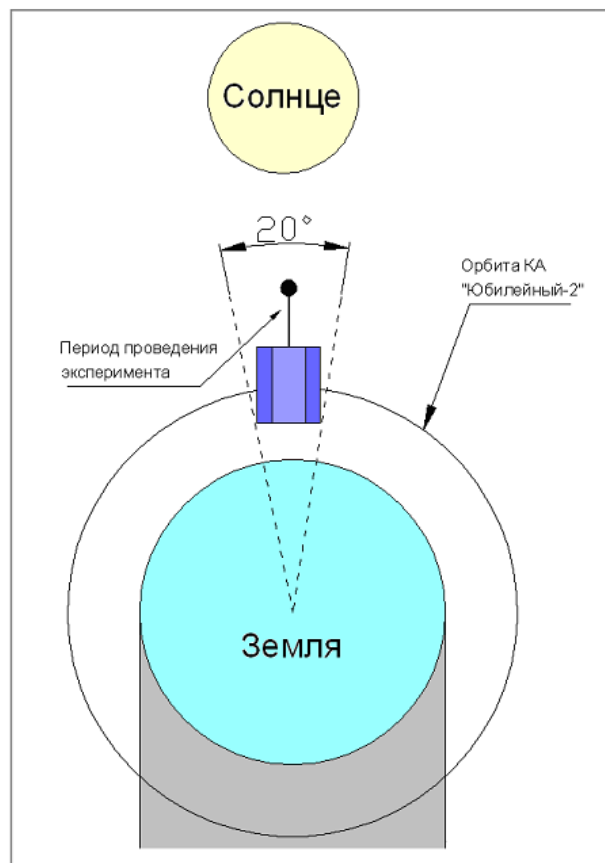


Рис. 8. КА «Юбилейный-2»

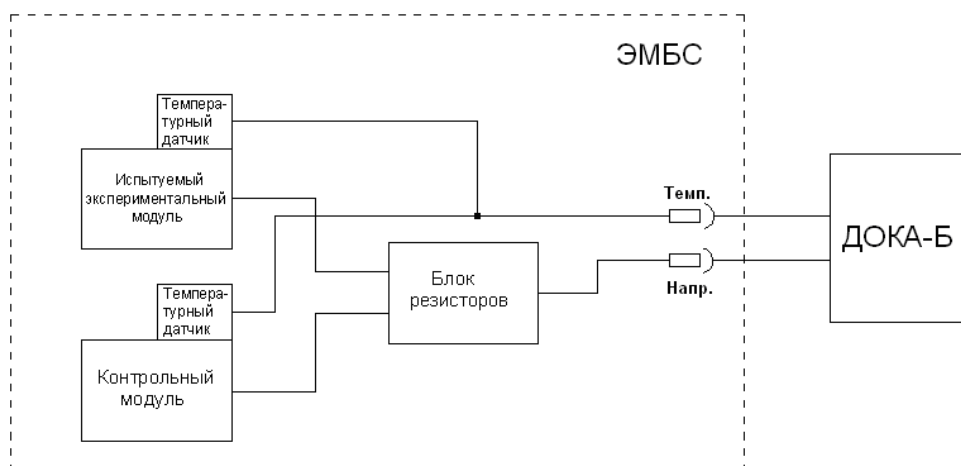


Рис. 7. Электрическая схема ЭМБС

P. I. Melnikov, V. S. Kudryashov, V. I. Kuzoro, E. A. Shangina

SOLAR BATTERIES EXPERIMENTAL UNIT WITH CONCENTRATOR: IDEA, CONSTRUCTION, METHODOLOGY OF FLIGHT TESTS

In the article we describe experimental unit of solar battery with plane concentrator of sun light, and give description of methodology of flight tests on spacecraft «Jubilee-2».

Keywords: spacecraft, solar battery.

© Мельников П. И., Кудряшов В. С., Кузоро В. И., Шангина Е. А., 2010

УДК 621.396.677

С. В. Поленга, Ю. П. Саломатов

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СЕТЕЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ*

Рассматриваются принципы создания отражательных антенных решеток на основе микрополосковых элементов. Приводятся результаты экспериментального исследования созданного прототипа ОАР.

Ключевые слова: отражательная антенная решетка, ячейка Флоке, Ки-диапазон.

В спутниковых системах связи необходимо использовать антенные системы с высоким коэффициентом усиления. Традиционно в таких случаях используются зеркальные антенны (ЗА) или антенные решетки. Применение ЗА в ряде случаев затруднено или невозможно из-за громоздкой формы рефлектора, также ЗА является сложной в производстве, особенно в области высоких частот и специальных форм диаграмм направленности (ДН). В результате развился новый тип антенн, который лишен некоторых недостатков параболических зеркальных антенных систем – отражательных антенных решеток (ОАР)

Подобно параболическому рефлектору, ОАР могут достигать очень высокой эффективности (> 50 %) для больших апертур [1], так как нет необходимости использовать делители мощности, подводящие цепи и другие элементы с возможными потерями. С другой стороны, возможна реализация ОАР с отклонением главного лепестка на большой угол от перпендикулярного направления, а также с диаграммой направленности (ДН) специальной формы.

Направление на спутник может быть задано на стадии проектирования антенны, таким образом ОАР могут крепиться непосредственно на выбранную стену здания. В таком случае снижаются затраты на поддерживающие конструкции, уменьшаются ветровые нагрузки на плоскость антенны, уменьшается влияние осадков, возможно использование обтекателя, имитирующего стену здания или рекламный плакат, таким образом ОАР не портит эстетический вид города.

Возможно сегментирование плоскости ОАР на отдельные подрешетки. Данная особенность позволяет значи-

тельно облегчить транспортировку антенн с большими размерами. Транспортировка ЗА с размерами более 2 м затруднительна в регионы с ограниченной транспортной сетью, где потребность в антенных системах с высоким коэффициентом усиления особенно высока. Также возможно создание разворачиваемых конструкций для мобильного применения.

Благодаря малой толщине рабочего слоя ОАР, она может быть установлена на имеющуюся поверхность без значительного увеличения габаритов и веса общей системы.

ОАР с сотнями или тысячами микрополосковых элементов могут производиться по имеющейся дешевой и точной технологии химического травления, что экономически целесообразно для ОАР с большими апертурами.

Другой важной особенностью данного типа антенн является возможность формирования ДН специальной формы, а также контурных диаграмм, используя известные техники фазового синтеза. Подобно параболическому рефлектору могут быть построены антенные системы с несколькими лучами, соответственно с несколькими облучателями, расположенными в фокальной области.

Для реализации электронного сканирования луча в элементы ОАР могут быть включены электронные фазовращатели. С такими возможностями ОАР нет необходимости в использовании сложных диаграммообразующих схем с высокими потерями и дорогостоящих усилителей в традиционных фазированных антенных решетках.

В настоящее время все большее распространение получают системы спутниковой связи и телевидения. Со-

*Работа выполнена при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

временный город уже нельзя представить без множества параболических спутниковых антенн. В данной работе поставлена задача разработки и экспериментального исследования ОАР для сетей спутниковой связи.

В общем случае ОАР преобразует сферический фазовый фронт облучателя в плоский или фронт специальной формы для получения желаемой ДН. Достигается это путем внесения фазовых задержек на элементах решетки.

Самый важный и критичный шаг в построении ОАР – выбор элемента. Можно выделить три главных критерия, которые влияют на выбор конфигурации элемента: фаза коэффициента отражения, ширина ДН и рабочая полоса.

Зависимость фазы отраженной волны от изменения геометрического параметра элемента (размеров, длины линии задержки и т. п.) должна быть вычислена максимально точно [2; 3]. Использование ячейки Флоке является самым распространенным методом расчета [4], он имитирует расчет бесконечной антенной периодической структуры, состоящей из одинаковых элементарных ячеек, с падением на нее плоской волны.

Ширина ДН элемента должна корректно соответствовать отношению фокусного расстояния к диаметру решетки f/D [5], чтобы в достаточной мере принимать сигнал облучателя под всеми углами облучения. Например, если элемент имеет достаточно узкую ДН, а антенна – небольшое значение f/D , элемент, расположенный на краю решетки, будет принимать лишь малую часть прошедшего излучения, соответственно будет неэффективен.

У всех элементов ОАР должен быть надлежащий интервал между соседними элементами, чтобы избежать появления дифракционных лепестков в диаграмме направленности. В случае облучения элемента по нормали, шаг может быть относительно большим ($> 0,9$). Для отдаленных элементов угол падения становится большим, соответственно шаг решетки должен быть уменьшен. Требование к шагу определяется следующим выражением:

$$\frac{d}{\lambda_0} \leq \frac{1}{1 + \sin \theta},$$

где d – шаг решетки; θ – угол облучения решетки или угол между направлением главного лепестка и нормалью к плоскости антенны. Например, в случае решетки с $f/D = 0,5$ угол облучения крайних элементов достигает 45° , соответственно шаг должен быть меньше $0,6\lambda$. При использовании большего шага неизбежно появление дифракционных лепестков в диаграмме направленности.

Для создания ОАР необходим алгоритм синтеза. Значение фазы в любой точке пространства, при использовании источника со сферическим фазовым фронтом может быть найдено из уравнения сферической волны

$$\dot{E}(r) = \frac{E_0}{|\vec{r}|} e^{-ik|\vec{r}|},$$

где E_0 – амплитуда электрического поля; $|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

– расстояние между фокусом антенны и элементом; x, y, z –

координаты элемента в антенне; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число

свободного пространства. Предполагается, что центр системы координат находится в фокусе. Фаза волны в выбранной точке имеет вид

$$\psi(\vec{r}) = \arg(\dot{E}(\vec{r})).$$

При построении АР необходимо определить фазу на плоскости, отстоящей на некотором расстоянии F от источника волны с определенным шагом. Тогда значение длин радиус-вектора может быть записано следующим образом:

$$|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + F^2},$$

где F – фокусное расстояние (константа).

Таким образом может быть получена матрица значений фазы в центральной точке каждого элемента решетки. Значения такой матрицы соответствуют необходимой фазовой задержке на элементах решетки для получения плоского фазового фронта, параллельного плоскости решетки, в случае синтезирования синфазной АР.

Заключительным шагом в синтезе АР является сопоставление значений фаз с варьируемым параметром элемента решетки.

Элементом для синтеза ОАР был выбран мальтийский крест (рис. 1).

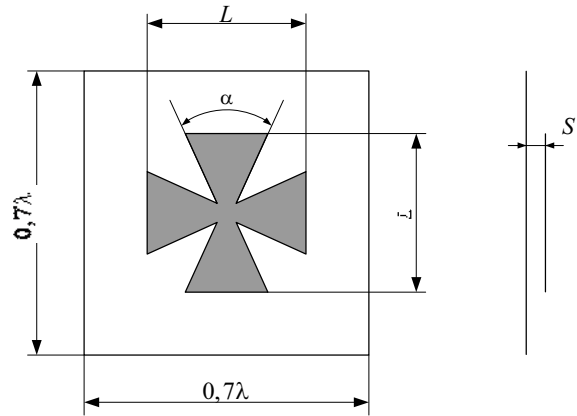


Рис. 1. Ячейка на основе резонатора в форме мальтийского креста

Структура описывается двумя параметрами: длиной креста L и углом расширения его луча. Расчет элемента ОАР производился методом ячейки Флоке.

При малых α элемент ведет себя идентично элементу без расширения. При увеличении α до 45° наблюдается движение фазовой кривой в конце рабочего участка. Фазовые кривые для четырех значений толщины подложки при $\alpha = 45^\circ$ показаны на рис. 2.

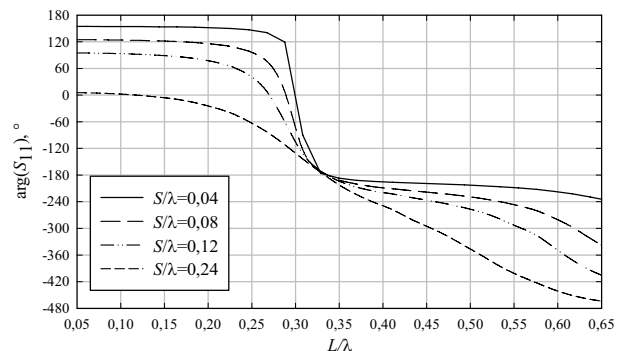


Рис. 2. Зависимость фазы отраженной волны от L для различных толщин подложек при $\alpha = 45^\circ$

Диапазон регулировки фазы достигает 500° при $\frac{S}{\lambda} = 0,12$. В таком случае может быть выбран удобный, наиболее линейный участок кривой для построения ОАР, для уменьшения влияния погрешностей при производстве [2; 3]. Шаг решетки может быть уменьшен до $0,55\lambda$ с сохранением диапазона регулировки равным 360° , что позволит повысить эффективность короткофокусных или офсетных систем, где часть элементов облучается под большим углом.

Такой элемент позволяет работать с круговой или двумя ортогональными линейными поляризациями, что является обязательным условием для функционирования в системе спутниковой связи.

Эскиз синтезированной ОАР на основе элемента в форме мальтийского креста представлен на рис. 3.

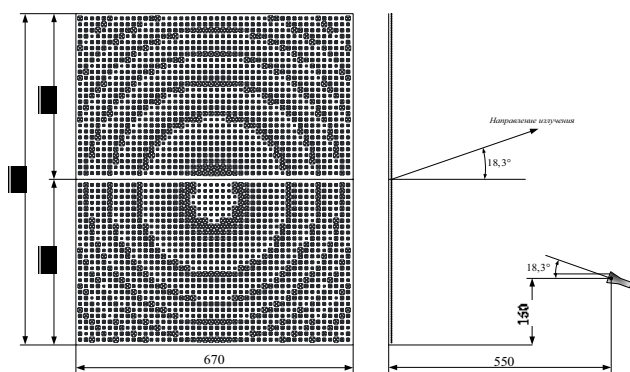


Рис. 3. Эскиз ОАР

ОАР разрабатывалась для работы в Ку-диапазоне (10,7–12,75 ГГц) [6]. Однако центральная частота была выбрана равной 12,3 ГГц, для повышения КУ в интересующем поддиапазоне спутника *Wopum 1* (12,1–12,5 ГГц). Синтезированная ОАР состоит из 46 элементов в горизонтальной плоскости и 54 – в вертикальной. В вертикальной плоскости решетка представлена в виде 2 подрешеток, что позволяет транспортировать антенну в таре с внутренними размерами $400 \times 670 \times 50$ мм. Для реализации антенны была выбрана офсетная конфигурация, где исключено затенение решетки облучателем. Угол подъема луча составляет $18,3^\circ$ и равен углу поворота облучателя, что ведет к сложению переизлученной и переотраженной составляющих, что несколько увеличивает КУ.

Представленная ОАР разработана для приема спутникового телевидения со спутника *Wopum 1* в Красноярском крае, где угол подъема на спутник составляет $18,3^\circ$, как и в изготовленной антенне. Таким образом антенна может крепиться непосредственно на стену здания, настройка на спутник в горизонтальной плоскости в пределах $\pm 20^\circ$ может производиться только перемещением облучателя. Отношение F/D антенной системы составило 0,8. В роли облучателя могут быть использованы стандартные конвертеры Ку-диапазона, имеющиеся на рынке.

Полное электродинамическое моделирование данной ОАР не проводилось из-за отсутствия необходимых вычислительных ресурсов. Расчетный максимальный КУ составляет 37 дБ, рабочая полоса частот по уровню -3 дБ составляет не менее 17 %.

Фотография изготовленной ОАР представлена на рис. 4.



Рис. 4. Фотография ОАР

ОАР реализована в виде двух отдельных подрешеток. Несущим слоем ОАР является листовая вспененный ПВХ толщиной 10 мм. Топология ОАР выполнена на металлизированном лавсане методом химического травления. Подложка выполнена из вспененного полиэтилена. Каждая из подрешеток закрыта ударопрочным обтекателем. Подрешетки прикрепляются к общему алюминиевому основанию. Предусмотрен держатель, который позволяет использовать стандартные облучатели Ку-диапазона.

Измеренные ДН исследуемой ОАР для трех частот в двух плоскостях представлены на рис. 5, 6.

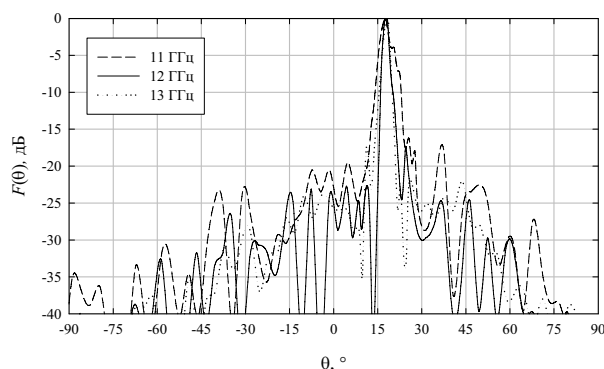


Рис. 5. Измеренные ДН в вертикальной плоскости для трех частот

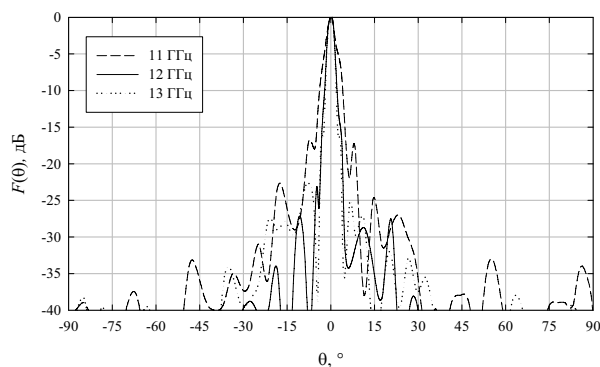


Рис. 6. Измеренные ДН в горизонтальной плоскости для трех частот

Измерения проводились в уличных условиях. Измерительная антенна с подключенным анализатором спектра размещалась в окне здания на достаточной высоте. Измеряемая антенна, подключенная к генератору, располагалась на улице. Таким образом, было минимизировано влияние земли на измеряемые характеристики антенны.

Измеренные ширины ДН исследуемой ОАР в двух плоскостях представлены на рис. 7.

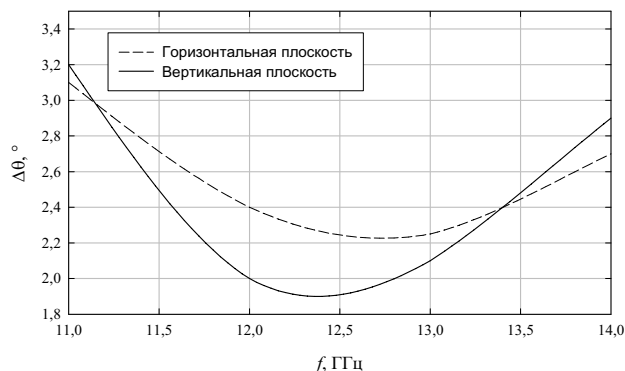


Рис. 7. Ширина ДН в горизонтальной и вертикальной плоскостях

Измеренный уровень боковых лепестков (УБЛ) исследуемой ОАР в двух плоскостях представлен на рис. 8.

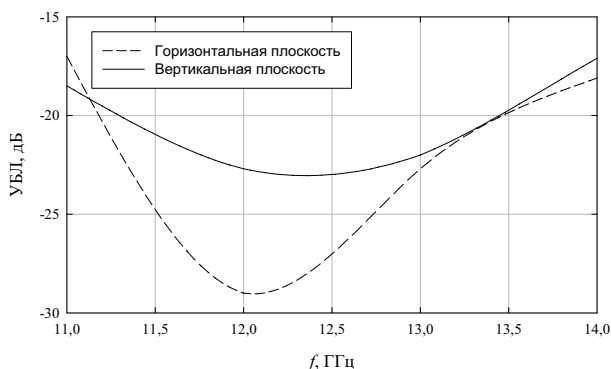


Рис. 8. УБЛ в горизонтальной и вертикальной плоскостях

Минимальные УБЛ и ширина ДН наблюдаются в диапазоне частот 12–12,5 ГГц, что соответствует расчетной центральной частоте ОАР 12,3 ГГц.

Следует отметить, что наблюдается частотное сканирование ДН в вертикальной плоскости (рис. 9).

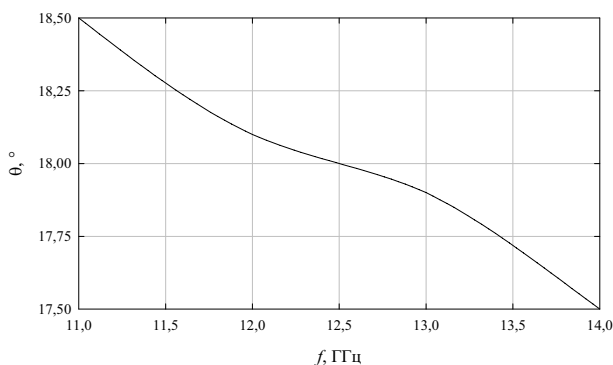


Рис. 9. Направление максимума ДН в вертикальной плоскости

Сканирование ДН в полосе частот 11–14 ГГц достигает 1°, что соразмерно с ШДН. Однако вещание со спутника ведется в более узкой полосе частот. Например, вещание со спутника Bonum-1 E56 ведется в диапазоне 12,168–12,476 ГГц, для которого сканирование составляет менее 0,1°. Частотное сканирование ДН присуще офсетной конфигурации, для прямофокусной конфигурации сканирования не будет.

Следует отметить, что производилось тестирование антенны на реальном сигнале с вышеупомянутого спутника. Антенная система оказалась способна принимать сигнал со спутника только на одну из панелей ОАР. Запас по КУ может быть использован для возможности применения антенны непосредственно на стенах зданий, перпендикулярных направлению на спутник в горизонтальной плоскости. Направление может быть скорректировано смещением облучателя.

Заключение. Описанная конструкция ОАР показывает возможность создания эффективных антенных систем с высоким КУ для массовых телекоммуникационных систем, обладающих плоской, удобной в расположении конструкцией. Возможность использования обтекателя, имитирующего стену здания, особенно актуальна в городских условиях. ОАР имеют низкую стоимость изготовления, благодаря применению распространенной технологии изготовления печатных плат, и могут составить конкуренцию традиционным зеркальным антеннам, особенно в случае реализации антенн с большими апертурами.

Библиографические ссылки

1. Huang J., Encinar J. A. Reflectarray antennas / IEEE Press. 2007.
2. Оценка допустимой неточности выполнения СВЧ микрополосковых отражательных антенных решеток / Ю. П. Саломатов, С. В. Поленга, Р. О. Рязанцев и др. // 18th int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2008). Sevastopol, Crimea, Ukraine, 2008. С. 417–418.
3. Поленга С. В., Саломатов Ю. П. Влияние неточности изготовления микрополосковых отражательных антенных решеток на их характеристики // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. / ИПК СФУ. Красноярск, 2008. С. 110–113.
4. Feng-Chi E. Tsai, Bialkowski M. E. Designing a 161-element Ku-Band microstrip reflectarray of variable size patches using an equivalent unit cell waveguide approach // IEEE transactions on antennas and propagation. 2003. Vol. 51. № 10. P. 2953–2962.
5. Поленга, С. В., Саломатов Ю. П. Оптимизация характеристик микрополосковых отражательных антенных решеток // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. / ИПК СФУ. Красноярск, 2009. С. 152–156.
6. Фронтов В. В., Тихвинский В. О. Регулирование телекоммуникаций в России и странах СНГ. М. : Горячая Линия – Телеком, 2006.

S. V. Polenga, Y. P. Salomatov

DESIGN AND RESEARCH OF REFLECTOR ANTENNA ARRAY FOR SATELLITE COMMUNICATION NETWORKS

In the article we consider design principles of reflector array based on microstrip elements. Results of the experimental research of the designed prototype are introduced.

Keywords: reflector array, Floquet's unit cell, Ku-band.

© Поленга С. В., Саломатов Ю. П., 2010

УДК 621.431.75

Е. А. Шангина, А. С. Рыбаков, К. А. Пасечник, П. А. Зайцев, А. Ю. Власов

НЕГЕРМЕТИЧНАЯ ПЛАТФОРМА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ*

Рассматривается конструкция негерметичной платформы космического аппарата для дистанционного зондирования земли с применением новых композиционных материалов.

Ключевые слова: малый космический аппарат, электромагнитная совместимость.

Современные условия требуют создания космических аппаратов (КА) с оптимальным соотношением между понесенными затратами, сроком изготовления и эксплуатации. Одно из перспективных развивающихся на сегодняшний день направлений – создание университетами России и других стран негерметичных малых космических аппаратов для проведения различных экспериментов в космосе: «Татьяна» – Московский государственный университет; «Бауманец» – Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана; «TUBSAT» – ТУ-Берлин; «Юбилейный» – Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева (СибГАУ). Однако рынок услуг, использующих информацию из космоса, и компании, развивающие этот сегмент, заинтересованы в космических аппаратах малой массы для дистанционного зондирования земли. Применение для этой цели малых космических аппаратов (МКА) позволяет получить значительные преимущества, такие как значительное увеличение оперативности получения данных наблюдения за счет создания необходимой по численности группировки малых аппаратов; более быстрое внедрение новых технических разработок и технологий съемки; увеличение «надежности» группировки за счет ее быстрого восполнения в случае необходимости [1].

Проблема оптимизации затрат приводит к необходимости применения новых конструкционных материалов при производстве аппаратов данного класса. В этом направлении в мировой практике признанным направлением наряду с уменьшением массы полезной нагрузки

активно развивается применение композиционных материалов, имеющих ряд преимуществ по сравнению с металлами: стойки к высоким температурам и давлению, к вибрационным нагрузкам на этапе выведения, низким температурам космического пространства [2].

Создание негерметичной платформы КА в СибГАУ как базы для перспективных низкоорбитальных КА микрокласса, решающих задачи дистанционного зондирования территории Красноярского края и проведения научных экспериментов, практической проверки правильности конструктивных, схемотехнических и технологических решений в части компоновки КА, а также отработки новых технологий производства в части изготовления силовой конструкции КА из композитных материалов.

Согласно техническому заданию малый космический аппарат запускается на низкую круговую орбиту, имеет активную систему ориентации на управляющих маховиках. Приборный состав представлен в табл. 1.

При проектировании сделан акцент на конструкции КА. Особенности орбиты движения КА определяют угол установки солнечных батарей (СБ) относительно продольной оси аппарата, направленных в сторону Земли. При этом сама СБ не ориентирована. После проведения детального анализа существующих конструктивно-компоновочных схем КА, принято решение отказаться от традиционного исполнения компоновки – СБ консольно закреплена на корпусе аппарата и имеет складную конструкцию, и сформулированы основные требования к силовой схеме КА: оптимальные размеры изделия; обеспечение удобного доступа для проведения монтажных ра-

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

бот; удобство стыковки отделения КА от ракетоносителя (РН); широкое применение стандартизации и унификации отдельных элементов и систем КА; минимальная масса изделия; соответствие прочностным требованиям [3].

На всех этапах разработки конструкции проводились расчеты на прочность и определялись собственные частоты колебаний конструкции. Первоначально в пакете CATIA были разработаны трехмерные эскизы шести вариантов корпуса различной конфигурации основания (треугольное, квадратное и шестигранное), где силовые элементы – трубки из углепластика – расположены под определенным углом к продольной оси КА [4].

Расчеты на прочность проводились для двух наихудших для конструкции нагружений. Расчетные случаи представлены в табл. 2.

Каждая компоновочная схема импортировалась в пакете Femap NX NASTRAN, где рассчитывалась на прочность и устойчивость методом конечных элементов. В

конечно-элементной модели рамы корпуса моделировались с помощью плоских элементов, а стержни в виде балок, в местах крепления рам со стержнями и в местах крепления корпуса к устройству отделения были введены жесткие заделки. Свойства материала основания заданы как алюминиевой сотовой панели, силовых трубок – углепластик [5].

По результатам проведенных расчетов из нескольких вариантов схем выбрана одна, наиболее удовлетворяющая требованиям технического задания. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Прочнее всего оказалась схема четырехугольника с наклонными силовыми трубками (табл. 3), выбрана схема шестигранника (рис. 1, 2) с углом наклона силовых трубок 78° , потому что при шестигранном исполнении основания достигается компромисс между условиями освещенности и коэффициентом заполнения панелей. Отдаваемая мощность СБ в данной конструкции макси-

Таблица 1

Приблизительный состав малого космического аппарата

Наименование	Кол-во, шт	Масса общая, кг
Опытный образец космического аппарата		
1. Бортовой комплекс управления	1	3
2. Антенно-фидерные устройства:		
– антенна спиральная	1	0,3
– антенна штыревая	4	0,5
3. Система электропитания:		
– комплекс автоматики и стабилизации	1	2,5
– аккумуляторная батарея	1	2
4. Система ориентации и стабилизации:		
– солнечный цифровой датчик	1	0,2
– оптический датчик звездных координат	1	1,8
– датчик Земли	1	0,31
– управляющий двигатель-маховик	1	0,9
– блок управления системы ориентации и стабилизации	2	0,4
5. Система терморегулирования		2
6. Научная аппаратура		
– камера дистанционного зондирования земли	1	14
7. Конструкция		5
Итого		27,01

Таблица 2

Расчетные случаи

Параметр	Значение
Выведение на орбиту	
Эксплуатационная продольная нагрузка	$n_z = 8g$
Эксплуатационная поперечная нагрузка	$n_y = n_x = 0,8g$
Коэффициент безопасности	1,3
Наземные нагрузки	
Эксплуатационная продольная нагрузка	$n_z = 1,25g$
Эксплуатационная поперечная нагрузка	$n_y = 3,92g$
Эксплуатационная поперечная нагрузка	$n_x = 1,43g$

Таблица 3

Результаты прочностного анализа

Наименование	Угол наклона граней, °	Собственная частота, Гц
Треугольник с наклонными трубками	80	119
Треугольник с прямыми трубками	90	105
Четырехугольник с наклонными трубками	78	120
Четырехугольник с прямыми трубками	90	65
Шестигранник с наклонными трубками	78	118
Шестигранник с прямыми трубками	90	114
Шестигранник с панелями	90	60

мальна. При меньшем количестве граней при движении КА в режиме штатной ориентации существует вероятность неоптимального использования солнечной батареи в течение всего витка.

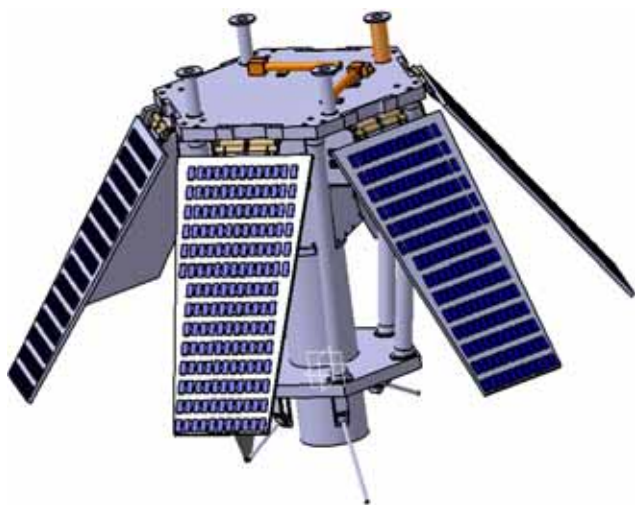


Рис. 1. 3D-модель КА



Рис. 2. Конструкция КА

Крепление силовых углепластиковых трубок к основанию осуществляется через закладные, которые являются опорными и соединительными элементами верхнего и нижнего оснований с трубками.

В конструкции КА предложен новый вариант механических систем раскрытия солнечных батарей – гибкий шарнирный узел. Преимущества данного узла перед существующими механизмами открытия – отсутствие трения, что существенно увеличивает надежность такого узла, простота конструкции облегчает изготовление, что положительно сказывается на сборке аппарата в целом. Композитная конструкция модуля СБ позволяет использовать ее как на земле, так и в космосе [6].

Для изготовления деталей МКА и самой конструкции написаны управляющие программы для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) с использованием одного из приложений Catia V5. Использование САМ-системы позволяет написать программу для обработки деталей со сложной пространственной геометрией на примере конструкции гибкого шарнирного узла, открывает ряд возможностей по использованию высокоскоростной обработки материалов, что дает возможность снизить время изготовления деталей и повысить качество поверхностей, уменьшить износ инструмента и оборудования, увеличить его ресурс, тем самым сократить расходы на технологическую оснастку. Также одним из главных положительных критериев является возможность полностью смоделировать процесс обработки, провести анализ полученной траектории перемещения инструмента, визуализировать готовую деталь и все возможные столкновения движущихся элементов оборудования [7].

Обеспечение нормальной работы бортовой аппаратуры напрямую зависит от влияния на нее внешних факторов космического пространства и электромагнитной обстановки внутри КА. Достижение электромагнитной совместимости (ЭМС) приборного состава и конструкции КА определяется за счет проведения испытаний, на основе которых делаются выводы о выборе материала для изготовления элементов конструкции и корпусов приборов.

Исследования на электромагнитную совместимость (ЭМС) играют немаловажную роль при проектировании КА, на их основе делаются выводы целесообразности применения той или иной конструкции.

Для испытаний на ЭМС бортовой кабельной сети и элементов конструкции КА созданы испытательные системы, позволяющие измерять амплитуды напряженности электрической компоненты электромагнитного поля, – бортовая измерительная система; проводить оценочные сравнения эффективности кабельных экранов коаксиальных радиокабелей в диапазоне частот 1–30 МГц – триаксиальная система; проводить испытания по работоспособности электронной аппаратуры и космической платформы при воздействии переменного низкочастотного электрического поля – имитатор переменного электрического поля.

Выводы. Спроектирована и изготовлена негерметичная платформа космического аппарата для дистанционного зондирования земли, силовая конструкция которой основана на композиционных материалах.

Изготовление МКА осуществлялось с использованием современных технологий производств (оборудование с ЧПУ), что позволило значительно ускорить изготовление конструкции КА, механических элементов, корпусов приборного состава.

Испытания на ЭМС КА, бортовой кабельной сети и элементов конструкции проведены при помощи систем, изготовленных в ходе проекта.

Библиографические ссылки

1. Каверин В. В., Пугач И. Ю. Применение современных методов при проектировании и отработке прочнос-

ти малого космического аппарата // Вопросы электроме-
ханики. Т. 109. 2009. С. 21–24.

2. Анализ современных возможностей создания ма-
лых космических аппаратов для дистанционного зонди-
рования Земли / В. Н. Севастьянов, В. А. Бранец,
Н. В. Панченко и др. // Тр. МФТИ. 2009. Т. 1. № 3.

3. Гуцин В. Н. Основы устройства и конструирова-
ния космических аппаратов. М. : Машиностроение, 1972.

4. Шмкович Д. Г. Расчет конструкций в MSC/
NASTRAN for Windows. М. : ДМК Пресс, 2001.

5. Тестоедов Н. А., Михеев А. Е. Технология произ-
водства космических аппаратов / Сиб. гос. аэрокосмич.
ун-т. Красноярск, 2009.

6. Шатров А. К., Назарова Л. П., Машуков А. В. Меха-
нические устройства космических аппаратов. Конструк-
тивные решения и динамические характеристики / Сиб.
гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006.

7. Ловыгин А. А., Васильев А. В. Современный ста-
нок с ЧПУ и CAD/CAM-система. М. : Изд-во Эльф ИПР,
2006.

E. A. Shangina, A. C. Ribakov, K. A. Pasechnik, P. A. Zaytsev, A. Yu. Vlasov

UNTIGHTENED PLATFORM OF SPACE VEHICLE FOR REMOTE SOUNDING OF THE EARTH

The authors consider design of untightened platform of space vehicle for remote sounding of the earth with application of new composite materials and technologies.

Keywords: space vehicle, electromagnetic compatibility.

© Шангина Е. А., Рыбаков А. С., Пасечник К. А., Зайцев П. А., Власов А. Ю., 2010

РАЗДЕЛ
3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ
И МАТЕРИАЛЫ

И. П. Бахвалова, А. А. Володин, А. В. Гехман, Д. А. Грищенко

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ НА ОСНОВЕ ТРЕБОВАНИЙ ГОСТ Р ИСО 15189–2006*

Рассматриваются проблемы и пути внедрения стандартов, устанавливающих требования к качеству и компетентности клинико-диагностических лабораторий (КДЛ). Приведены результаты разработки и испытаний системы стандартизации их деятельности.

Ключевые слова: клинико-диагностические лаборатории, качество лабораторных исследований, эффективность работы КДЛ, стандартизация, автоматизация процессов.

Клинико-диагностическая лаборатория (КДЛ) является одним из функциональных звеньев лечебно-профилактических учреждений в здравоохранении. Существующие сегодня в Красноярском крае лаборатории имеют самую различную оснащенность – от минимальной, включающей фотоколориметр и микроскоп, до современных комплексных приборов и анализаторов. Однако цель проводимых в КДЛ любого статуса работ одинакова – проведение качественных, достоверных, воспроизводимых и своевременных исследований.

Обеспечение качества таких работ является инструментом конкурентной борьбы и на современном этапе требует организации деятельности лабораторий в соответствии с требованиями международных стандартов. Для КДЛ это стандарты ГОСТ Р 52905–2007 [1], аутентичный ИСО 15190, и ГОСТ Р ИСО 15189–2006 [2]. Введение в действие новых стандартов унифицирует и стандартизирует терминологию, процедуры проведения исследований, подходы к созданию систем менеджмента качества, общие требования к КДЛ на государственном уровне как к лабораториям, проводящей испытания, исследования с учетом специфики объектов исследований. Так, ГОСТ Р ИСО 15189–2006 устанавливает требования к качеству и компетентности медицинских лабораторий, при этом в тексте стандарта проводится сопоставление его структуры и терминологии с ГОСТ Р ИСО 17025–2006, разработанным для аккредитованных лабораторий, и стандартом ИСО 9001:2000, устанавливающим требования к системам менеджмента качества на предприятии (в организации). Стандарты серии ГОСТ Р 53079 и ГОСТ Р 53022 содержат специально разработанные для КДЛ требования и пути обеспечения качества клинических исследований.

В России эти стандарты формально введены в действие, однако реальное их внедрение сталкивается с трудностями, связанными прежде всего с низкой автоматизацией процессов лаборатории и человеческим фактором – привычкой персонала работать по старым стереотипам, бессистемно, а также с отсутствием сведений о менеджменте качества в КДЛ. Кроме того, низкий уровень обеспечения лабораторий компьютерной техникой не позволяет внедрять сложные и многоуровневые диагностические программы.

Понятие «автоматизация» для лабораторной медицины не является новым [3–5]. Еще до создания компьютеров в клинико-диагностических лабораториях начали появляться автоматические анализаторы, обеспечивающие выполнение ряда последовательных операций по определенному алгоритму. Использование таких анализаторов позволило повысить производительность и достоверность результатов исследований за счет уменьшения доли ручного труда и обработки образцов биологического материала в одних и тех же условиях.

Однако с увеличением количества образцов, поступающих на исследование в КДЛ, и ростом нагрузки на персонал становятся неизбежными ошибки при формировании сведений о результатах анализа и отчетной документации, дублирование исследований из-за потери полученных данных и другие недочеты в деятельности лабораторий вплоть до того, что одному пациенту могут выдать результаты обследования другого. Все это приводит к неоправданным потерям финансовых и трудовых ресурсов, а также к несвоевременной постановке диагноза, что может иметь необратимые последствия для здоровья и жизни больного.

В настоящее время под автоматизацией КДЛ подразумевается управление с использованием систем автоматизации всех сторон деятельности лаборатории: технологических (организация работы автоматизированных аналитических приборов, роботизированных комплексов), организационных, учетно-статистических, финансово-экономических, а также интеграция с внешними информационными системами [6]. Полностью автоматизированных лабораторий в Красноярском крае пока нет, однако работы в этом направлении ведутся.

Лабораторные информационно-управляющие системы – это специализированные программные комплексы, направленные на автоматизацию работы аналитической лаборатории. Они предназначены для управления бизнес-процессами внутри КДЛ на всех стадиях проведения лабораторных исследований: преаналитической, аналитической, постаналитической – и для оперативного предоставления лабораторной информации по качеству.

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

В данной статье будет описано создание системы мероприятий, соответствующего программного обеспечения и документации для стандартизации лабораторных процессов на всех этапах исследований, подтверждения их качества, выявления и предотвращения недопустимых погрешностей и промахов, которые могут появиться в процессе выполнения лабораторных исследований.

Задачи первого уровня при разработке системы стандартизации и автоматизации (ССА) технологических процессов КДЛ – идентификация, описание и стандартизация лабораторных процессов, поддержка основного производственного цикла лаборатории: регистрация и маркировка проб, движение образцов, распределение работ, выполнение исследований и расчетов, ввод и утверждение результатов анализов, формирование отчетной документации. Этот перечень построен на основе жизненного цикла пробы, подразумевающего последовательность сменяющих друг друга этапов прохождения пробы через лабораторию, начиная от планирования отбора и заканчивая складированием или утилизацией. Задачи второго уровня – автоматизация обеспечивающих работ, таких как планирование, внутрилабораторный контроль, учет материалов, реактивов и оборудования, инвентаризация, управление персоналом, взаимодействие с оборудованием, интеграция с другими системами предприятия и т. д. Тактика проведения работ заключается в анализе и реорганизации бизнес-процессов, протекающих в лаборатории с момента поступления биоматериала и до момента выдачи результатов исследования. Знание современных методов лабораторной диагностики, информационных технологий и анализ текущих бизнес-процессов позволили выделить наиболее проблемные процессы (узкие места), на которые приходится наибольшее количество ошибок или наибольшие затраты времени.

Из всех возможных методов устранения или минимизации влияния узких мест выбран наиболее адекватный в технологическом и экономическом плане метод оптимизации.

Рассматриваемая система реализована на базе современных программно-технических средств и средств передачи данных с учетом следующих требований:

- необходимости защиты от несанкционированного доступа и изменения данных;
- однократности ввода информации;
- автоматической синхронизации изменений информационной базы;
- совместимости со стандартными средствами обработки информации, в которых применяется технология представления результатов запросов;
- адаптивности к изменяющимся условиям функционирования КДЛ;
- универсальности взаимодействия с распространенными стандартными форматами баз данных (БД) (MS SQL, Oracle, InterBase);
- независимости структуры автоматизированных систем от используемой техники и базовых технологий;
- высокой готовности к предоставлению требуемой информационной услуги (доступность), реализуемой с минимальными затратами;
- живучести автоматизированных систем в условиях чрезвычайных внешних воздействий;

– преимущества новых и существующих автоматизированных систем по программным и аппаратным средствам;

– взаимодействия с внешними автоматизированными системами управления.

Система разработана для ОС семейства Windows 2000/XP/2003/ с использованием свободно распространяемой системы управления базами данных и выполнена по технологии «клиент–сервер» с подключением сетевых SQL-серверов. При отсутствии локальной сети предприятия или при невозможности подключения к ней допускается применение на автономной рабочей станции локального SQL-сервера. Пользовательские компьютеры для работы в ССА должны представлять собой IBM-совместимые компьютеры с конфигурацией не ниже Pentium III 1000 ГГц и оперативной памятью не менее 512 Мб.

Поступление классифицированных данных в БД системы происходит по следующей схеме (рис. 1).

Защита информации от несанкционированного доступа предусмотрена на уровне доступа к сетевым ресурсам (системотехнической среде), приложениям (прикладному программному обеспечению) и доступа к информации БД (доступ к объектам БД, вид доступа к объектам – на чтение, на запись, на удаление, на изменение).

Система стандартизации и автоматизации технологических процессов КДЛ выполняет следующие функции:

- надежно хранит внесенные данные;
- обеспечивает авторизацию и доступ к данным;
- обеспечивает процессы лабораторного документооборота;
- регистрирует данные об образцах, результатах исследований, расходных материалах, состоянии средств и инструментов измерений, персонале;
- позволяет вести лабораторные журналы;
- генерирует отчеты, протоколы, акты;
- контролирует информацию о состоянии приборов и инструментов;
- хранит нормативные документы;
- осуществляет поиск по ключевым словам;
- обеспечивает выполнение административных функций.

Функционал системы (рис. 2) разбит на подсистему хранения данных (хранение оперативных данных, данных для формирования аналитических отчетов, документов, сформированных в процессе работы отчетов), обеспечивающую периодическое резервное копирование и хранение данных на дополнительных носителях информации, и подсистему приложений операционного управления, разбитую на модули «Анализ», «Документы», «Журналы», «Учет оборудования», «Учет материалов», «Сотрудники», «Отчеты», «Администрирование».

Автоматизированные рабочие места (АРМ) формируются на основании функций сотрудников КДЛ и исходя из возможностей модулей. В рамках ССА выделено несколько АРМ: руководителя КДЛ, врача, лабораторного техника, администратора системы.

Все модули разработаны с учетом требований нормативных документов, в том числе ГОСТ Р ИСО 15189–2006. Так, модуль «Анализ» (рис. 3) и связанные с ним процедуры выполнены таким образом, чтобы можно

было отследить прохождение образцов в процессе регистрации, проведения испытаний и выдачи результатов исследований. В качестве исходных форм выбраны утвержденные в установленном порядке базовые документы КДЛ. Унифицированные формы, используемые в модуле, позволяют однозначно идентифицировать образец и результаты исследования.

Сквозная идентификация и отслеживание результатов при исследованиях с использованием ССА достигаются за

счет учета всех заявителей (подразделений медицинского учреждения), документального оформления и идентификации процедур системы менеджмента качества лабораторных исследований, регистрации сроков, состава исполнителей, условий и результатов испытаний, а также системы дифференцированного по заявителям учета и хранения документации, отражающей результаты испытаний.

Сведения, хранящиеся в БД системы, разделены на статические (содержащиеся в справочниках относительно

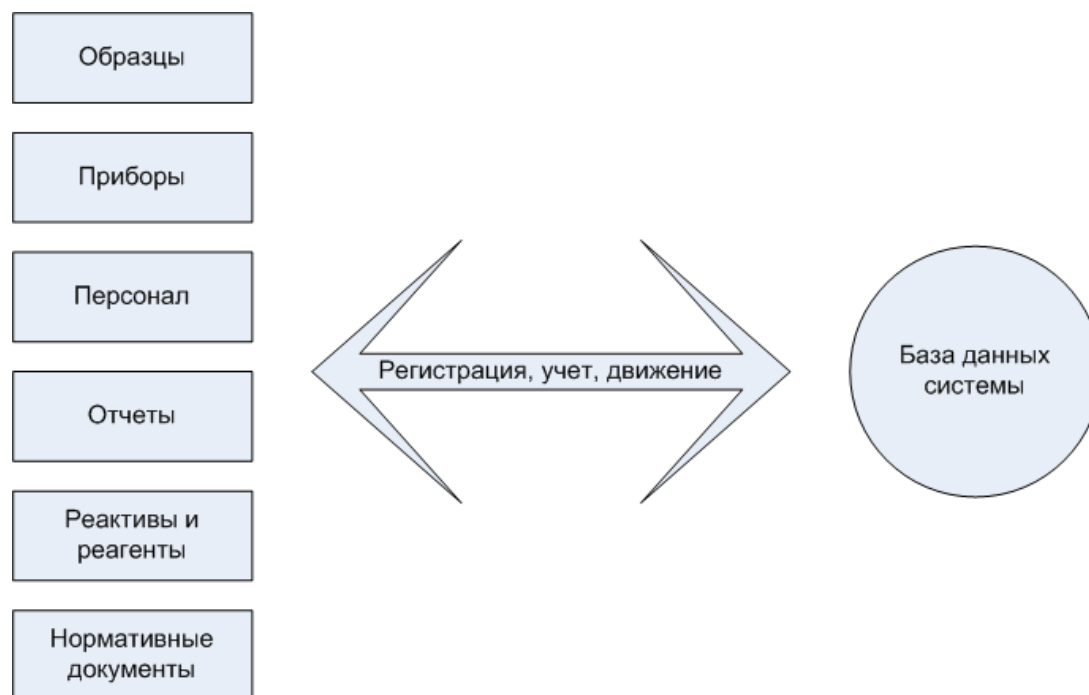


Рис. 1. Схема поступления данных в базу системы стандартизации и автоматизации технологических процессов КДЛ

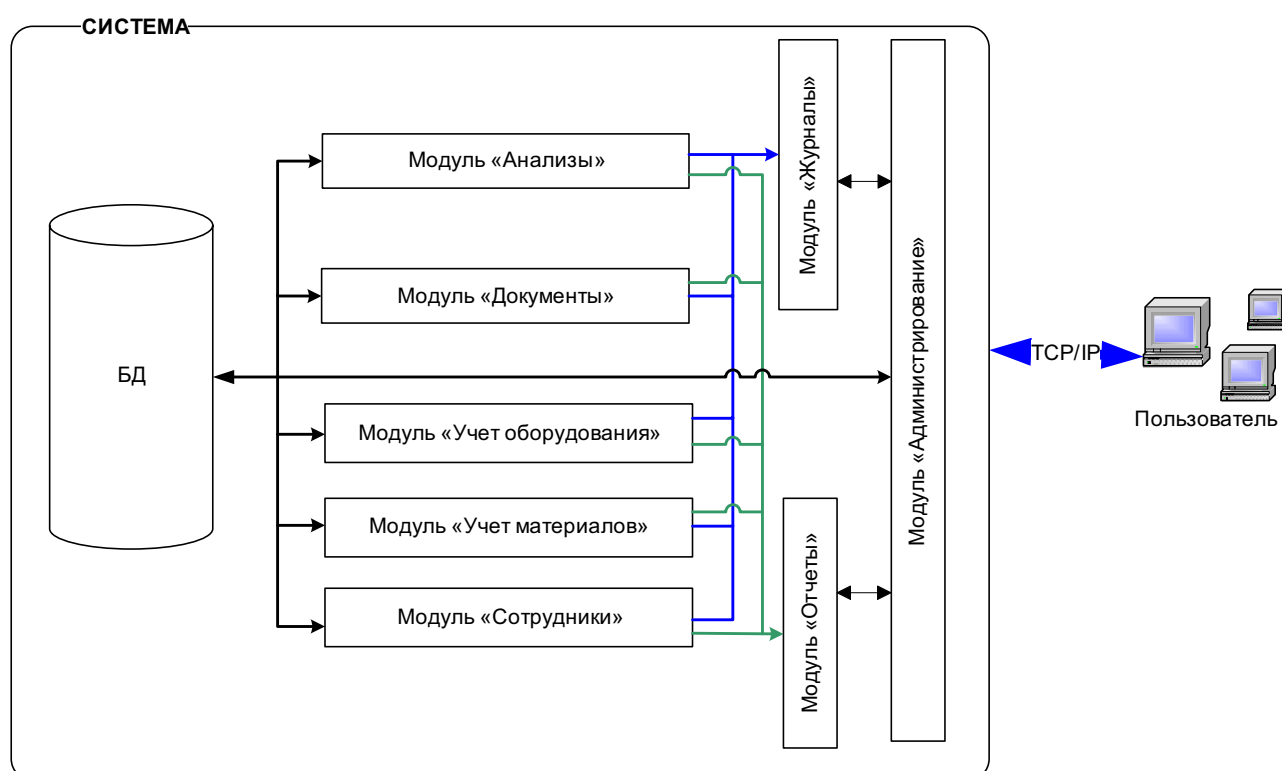


Рис. 2. Общая структура системы

постоянных значений в виде заготовок, шаблонов, используемых в дальнейшем путем копирования либо создания на них ссылок) и динамические данные (опирающиеся на значения справочников, сведения журналов). Создание справочников является оправданным шагом, поскольку они значительно сокращают затраты на занесение данных путем обращения к перечням хранимых значений.

Автоматическое отображение процесса исследований в виде специальных пиктограмм позволяет контролировать стабильность работы персонала, своевременно отслеживать неудовлетворительные результаты и планировать объем испытаний в подразделениях КДЛ.

В модуле «Учет оборудования» в соответствии с пп. 5.3 и 5.4 ГОСТ Р ИСО 15189–2006 в унифицированной форме – в виде каталога (карточки на оборудование) – хранятся сведения об оснащенности лаборатории средствами измерений, испытательным и вспомогательным оборудованием согласно области деятельности КДЛ. В отдельной документированной форме учитываются сведения о поверке, калибровке и техническом обслуживании оборудования. Формы легко преобразуются в документы, представляемые при аккредитации лаборатории. Информация о необходимых по срокам поверках и калибровках и поиск оборудования по ключевым словам делают работу с модулем «Учет оборудования» удобной для персонала КДЛ.

Содержание модуля «Сотрудники» соответствует требованиям к менеджменту лаборатории, описанном в ГОСТ Р ИСО 15189–2006 (пп. 4.1.4, 4.1.5). Здесь предусмотрено хранение структурной схемы КДЛ, распределение обязанностей и ответственности конкретных сотрудников при их участии в исследованиях, а также прав и взаимоотношений между сотрудниками внутри лаборатории.

В этом модуле выполнено необходимое условие п. 5.1 ГОСТ Р ИСО 15189–2006 – проведение учета образовательной и профессиональной квалификации, умений, опыта и компетентности персонала, регистрации данных о непрерывном образовании и повышении профессионального уровня сотрудников, а также сведения о несчастных случаях. Здесь же устанавливается, кто имеет доступ к данным и кому разрешено вводить, утверждать и изменять результаты (п. 5.1.8 ГОСТ Р ИСО 15189–2006).

При разработке модуля «Администрирование» использовались принципы, взятые из Федерального закона от 27.12.2002 № 184 «О техническом регулировании» и ГОСТ Р ИСО 15189–2006: персональная ответственность за конкретный участок работы, компетентность, разграничение полномочий, ограничение доступа к информации.

Модуль «Документы» предназначен для хранения документации КДЛ в соответствии с п. 4.3 ГОСТ Р ИСО 15189–2006, согласно которому лаборатория должна определить порядок документирования и соблюдения процедур управления документацией и всей информацией, имеющейся в распоряжении КДЛ. Перечень документов, которые будут храниться в данном модуле, определяет руководство лаборатории. Учетные копии всех необходимых документов должны быть утверждены, заархивированы и внесены в список, уточняющий текущий пересмотр документов. В системе должна храниться только действующая (актуализированная) копия конкретного документа. Предусмотрена возможность хранения и поиска как сканированных, так и электронных документов КДЛ.

Неоспоримым достоинством ССА является то, что она способствует стандартизации медицинских документов, в первую очередь печатных форм с результатами исследований, что облегчает восприятие и интерпретацию дан-

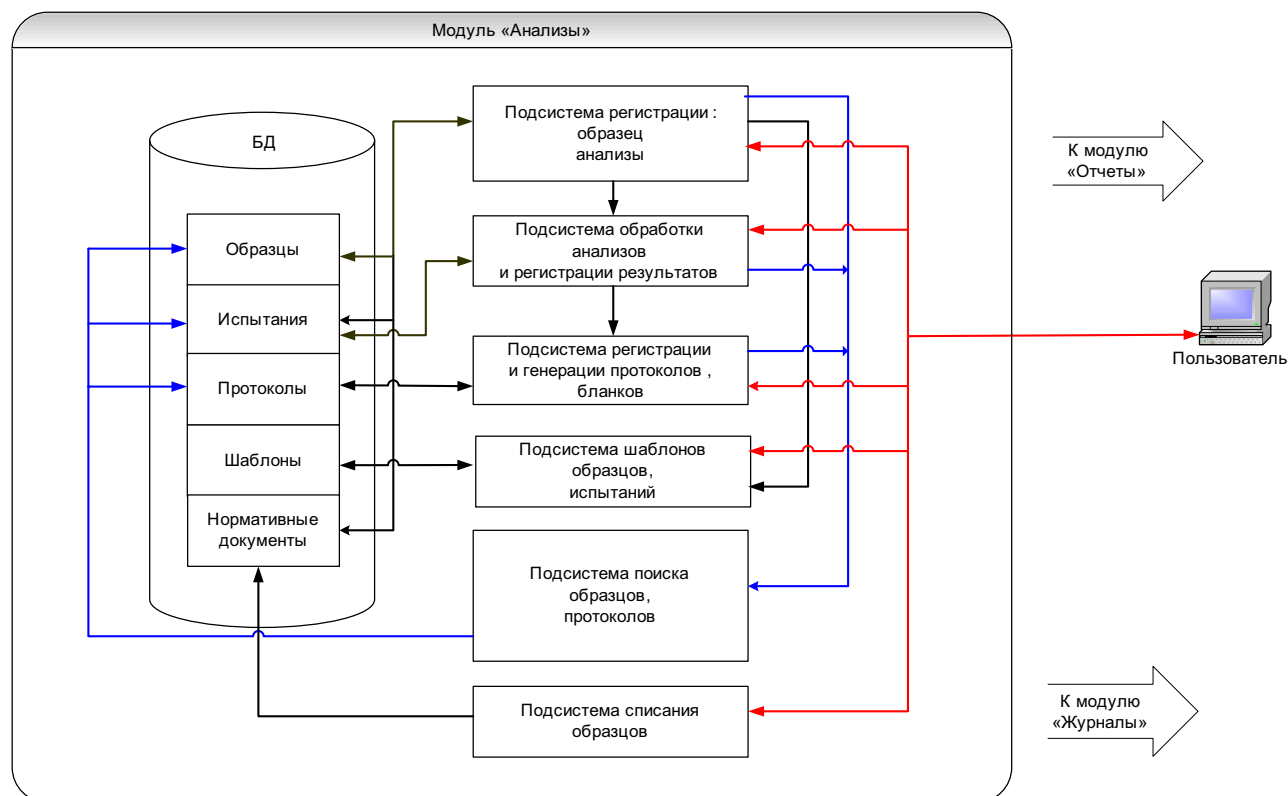


Рис. 3. Архитектура модуля «Анализ»

ных врачами-клиницистами и устраняет ошибки прочтения рукописных документов. К тому же единый формат документации создает возможность долговременного хранения результатов проведенных исследований, что впоследствии позволит оперативно находить необходимые данные за любой прошедший период и наблюдать их динамику. Благодаря использованию системы уменьшается время выполнения исследований за счет упразднения ручных операций с документами, что способствует оперативному поступлению результатов лабораторного обследования к лечащему врачу и позволяет быстрее начать лечение пациента.

Данные по хранению, учету и использованию реактивов и расходных материалов удобно хранить в модуле «Учет материалов», который разработан в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53079.2–2008 [7]. Здесь предусмотрена возможность хранения перечня используемых реактивов, контрольных (государственных стандартных образцов) и расходных материалов. Для эффективной работы КДЛ предусмотрено хранение и контроль информации о производителе материала (реактива), сроках и условиях хранения, датах приготовления и контроля рабочих растворов и материалов. Эта информация легко отслеживается, может быть изменена уполномоченным лицом, при необходимости расход реактивов и расходных материалов оформляется в виде актов списания.

Опытный вариант разработанной в течение 2010 г. системы стандартизации и автоматизации технологических процессов КДЛ в октябре 2010 г. был установлен в КГБУЗ «Краевая клиническая больница». Проведенные с участием персонала КДЛ испытания показали, что с внедрением этой системы могут быть решены следующие задачи:

- сведение к минимуму количества ошибок при проведении исследований и обработке данных;
- ускорение исследований;
- обеспечение оперативного доступа к результатам исследований;
- снижение финансовых расходов лаборатории;
- соблюдение требований информационной безопасности;
- повышение эффективности использования лабораторного оборудования;
- уменьшение затрат рабочего времени персонала при подготовке текущей и отчетной документации.

По результатам опытных испытаний системы подписан соответствующий акт.

Таким образом, использование системы стандартизации и автоматизации технологических процессов клиничко-диагностических лабораторий, основанной на требованиях международных и национальных стандартов, сделает процесс работы КДЛ и его результаты последовательными, согласованными, предсказуемыми и воспроизводимыми. Несомненными преимуществами данной системы являются соответствие требованиям нормативной документации, четкое распределение задач, обеспечение высокого качества и логической последовательности действий, эффективность при обучении нового персонала, возможность организованной работы персонала в отсутствие руководства.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ Р 52905–2007. Лаборатории медицинские. Требования безопасности [Электронный ресурс] // ГОСТ-эксперт : сайт. URL: <http://gostexpert.ru/gost/gost-52905-2007> (дата обращения: 20.12.2010).
2. ГОСТ Р ИСО 15189–2006. Лаборатории медицинские. Частные требования к качеству и компетентности [Электронный ресурс] // ГОСТ-эксперт : сайт. URL: <http://gostexpert.ru/gost/gost-15189-2006> (дата обращения: 20.12.2010).
3. Sasaki M. Recent trends in standardization of laboratory automation systems // LAS Primer / A&T corp. Yokohama, 1997. P. 72–76.
4. Калянов Г. Н. Консалтинг при автоматизации предприятий (подходы, методы, средства). М. : СИНТЕГ, 1997.
5. Международные стандарты автоматизации клинической диагностической лаборатории / Л. М. Манукян, Н. В. Иванец, М. Г. Светашев, Р. В. Родионов // Лабораторно-информационные системы (LIMS) : сб. ст. / ООО «Маркетинг. Информ. технологии». М., 2006. С. 98–109.
6. Общие аспекты автоматизации клинических лабораторий в России / Л. М. Манукян, Н. Б. Малышева, Н. В. Иванец, М. Г. Светашев // Лабораторно-информационные системы (LIMS) : сб. ст. / ООО «Маркетинг. Информ. технологии». М., 2006. С. 25–36.
7. ГОСТ Р 53079.2–2008. Обеспечение качества клинических лабораторных исследований. Ч. 2. Руководство по управлению качеством в клиничко-диагностической лаборатории. Типовая модель // ALLGOSTS.info : сайт. URL: <http://www.allgosts.info/standarts/gost-r-530792-2008> (дата обращения: 20.12.2010).

I. P. Bakhvalova, A. A. Volodin, A. V. Gekhman, D. A. Grischenko

DEVELOPMENT OF SYSTEM OF STANDARDIZATION AND AUTOMATIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES SYSTEM IN CLINIC-DIAGNOSTICS LABORATORIES, BASED ON STATE STANDART R ISO 15189–2006

Problems of activity organization in clinical and diagnostic laboratories are discussed. Ways of introduction of standards determining the demands to quality and competence of these laboratories are developed. Results of working out and testing of standardization system are presented.

Keywords: clinical and diagnostic laboratories, standardization, quality of laboratory investigation, efficiency of laboratory activity, automation of processes.

С. Г. Баякин

ПРИМЕР ДВУКРАТНОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УГЛЯ С ОДНОВРЕМЕННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ КОКСА*

Представленные расчеты позволяют выявить реальные преимущества новейшего подхода к использованию молодых углей. Предложен современный путь решения задачи энергообеспечения в системе ЖКХ, позволяющий влиять на снижение тарифов для населения.

Ключевые слова: энерготехнологический комплекс, технология «Термококс».

Устойчивое развитие промышленности, сельского хозяйства, ЖКХ и социальной сферы России неразрывно связано с проблемой создания эффективных экологически чистых энергоисточников. Страна располагает огромными запасами пластов бурого угля, основные из которых – более 10 трлн т – находятся в Красноярском крае. Но на существующих ГРЭС, ТЭЦ и котельных используются технологии 30–60-х гг. прошлого века с низким КПД и высоким уровнем загрязнения окружающей среды.

Группой ученых Сибирского федерального университета, Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, СКТБ «Наука» и ООО «Сибтермо» на протяжении 20 лет разрабатываются и применяются уникальные технологии серии «Термококс», защищенные 22 российскими и зарубежными патентами. Эти технологии основаны на эффекте обратной термической волны, благодаря которому в процессе газификации бурого угля можно получить два продукта – дорогостоящий металлургический кокс и горючий газ как источник энергии для ГРЭС, ТЭЦ и котельных с 20%-м содержанием водорода. Технологии «Термококс» позволяют достичь двукратного экономического эффекта при снижении загрязняющих выбросов как минимум в 20 раз и при полном отсутствии золы и шлаков. Ряд технологических процессов доведен до опытно-промышленной и промышленной стадии, а именно:

– котельная ЗАО «Карбоника-Ф» (Красноярск) мощностью 9 Гкал/ч 15 лет работает на угольном газе, при этом тепло в городскую сеть отдается бесплатно;

– на ОАО «Балахтинский хлеб» четыре года действует установка для сушки зерна на угольном газе. Удельные затраты на сушку 1 т зерна при сжигании дизтоплива – более 200 руб., газа из угля ~ 30 руб, т. е. себестоимость 1 т товарного зерна при сушке угольным газом снижается на 90...170 руб. Установка окупилась за один сезон;

– в Монголии компанией Tugrugnuuryn Energy Co., Ltd. по технологии «Термококс» в сентябре 2008 г. запущено производство чистых топливных брикетов. В июле 2010 г. заключен контракт на реконструкцию ТЭЦ-2 Улан-Батора по технологии «Термококс-КС».

В качестве примера реального применения технологии «Термококс» в жилищно-коммунальном хозяйстве

рассмотрим технологическую схему и краткое технико-экономическое обоснование энерготехнологического комплекса (ЭТК) для энергообеспечения автономного жилого поселка на 200 домов.

Технология «Термококс» позволяет из доступных бурых углей производить одновременно два дорогостоящих продукта – энергию и кокс при 20-кратном снижении атмосферных выбросов и полном отсутствии золошлаковых отходов. При этом тарифы для жителей поселка на тепловую и электрическую энергию могут быть существенно снижены за счет реализации кокса.

Энерготехнологический комплекс (см. рисунок) работает следующим образом. Поступающий в газификатор уголь преобразуется в два продукта – синтез-газ и кокс. Синтез-газ подается в паровой котел и газопоршневой или паротурбинный энергоблок для производства тепловой и электрической энергии. Вырабатываемый кокс реализуется потребителям. Таким образом, достигается двойной экономический эффект. В зависимости от принадлежности ЭТК (а это может быть, например, ТСЖ) тариф на тепловую и электрическую энергию устанавливается в индивидуальном порядке и может быть снижен практически до нуля.

Приняты следующие исходные данные:

- количество домов в поселке – 200;
 - средняя площадь дома – 150 м²;
 - тепловая нагрузка на усредненный дом – 15 кВт;
 - энергозатраты на горячее водоснабжение одного дома – 3 кВт;
 - электрическая нагрузка на один дом – 15 кВт;
 - тепловая нагрузка поселка: $(15 + 3) \times 200 = 3\,600$ кВт = 3 гкал/ч;
 - электрическая нагрузка поселка: $15 \times 200 \times 0,14 = 420$ кВт,
- где 0,14 – коэффициент одновременности для квартир повышенной комфортности при общем количестве квартир 200 и более.

Ставки коммунальных платежей для жителей отдельного жилищного комплекса (поселка) принимаются на 50 % ниже существующих городских тарифов (табл. 1).

Платежи за коммунальные услуги и реализацию кокса поступают на счет организации, эксплуатирующей ЭТК, и суммируются.

Основной потребитель кузнечного кокса – кузнечные цеха металлургических заводов и предприятий металло-

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (соглашение о порядке целевого финансирования № 7 от 6 августа 2009 г.).

обработки, а также небольшие частные кузницы. Общий объем потребления кузнечного кокса по Красноярскому краю – примерно 18 000 т в год (1 500 т в месяц).

Экономические показатели:

- сумма коммунальных платежей по поселку: 200 домов 3 250,25 руб. = 650 050 руб. в месяц;
- цена реализации кузнечного кокса – 7 000 руб./т;
- объем выпуска кузнечного кокса ЭТК – 500 т в месяц;
- выручка от продажи кокса – 3 500 000 руб. в месяц;
- общая выручка от продажи кокса одного ЭТК с реализацией электрической и тепловой энергии поселку – 4 150 050 руб. в месяц;
- ежемесячные затраты на производство энергии с выпуском кузнечного кокса – 1 700 000 руб. в месяц для одного ЭТК;
- чистая прибыль одного ЭТК после уплаты налогов – 18 000 тыс. руб. в год;
- капитальные затраты – 61 270 тыс. руб. (табл. 2);
- срок строительства – 6 месяцев;
- срок окупаемости – 3,4 года;
- рентабельность проекта – 88,2 % (при 50 %-м снижении тарифов ЖКХ).

В настоящее время рынок сбыта кокса расширяется, а его цена растет. При объеме выпуска кокса более 100 тыс. т в год потребителями автоматически становятся предприятия черной и цветной металлургии. Таким образом, перспектива энергообеспечения коммунальных

объектов с применением ЭТК на основе технологии «Термококс» с существенным снижением тарифов ЖКХ является очевидной.

Следует также отметить, что производство порошкового кокса на существующих угольно-энергетических мощностях позволяет эффективно развивать самое современное направление в мировой металлургии – прямое восстановление металла.

Информация о технологии «Термококс» и возможности ее применения в масштабах Красноярского края, других регионов и страны в целом обсуждалась на всех возможных уровнях.

В марте–апреле 2010 г. на межрегиональном форуме партии «Единая Россия» «Развитие Сибири 2010–2012 гг.», проходившем в Красноярске и Новосибирске, проект «Термококс» получил высшую экспертную оценку и включен в список партийных проектов.

В июне 2010 г. на Международном научно-техническом конгрессе «Энергетика в глобальном мире» (Красноярск) доклад «Технология «Термококс» признан лучшим, отмечен почетным дипломом и памятным призом.

Наблюдательный совет Красноярского краевого фонда науки в 2010 г. одобрил финансирование двух проектов по данному направлению, что уже привело реальному результату – созданию новой серийной конструкции газификатора для зерносушилок. Готовятся к реализации проекты в области ЖКХ, металлургии и водородной энергетики.

Таблица 1

Тарифные ставки и суммы для поселка на 200 домов

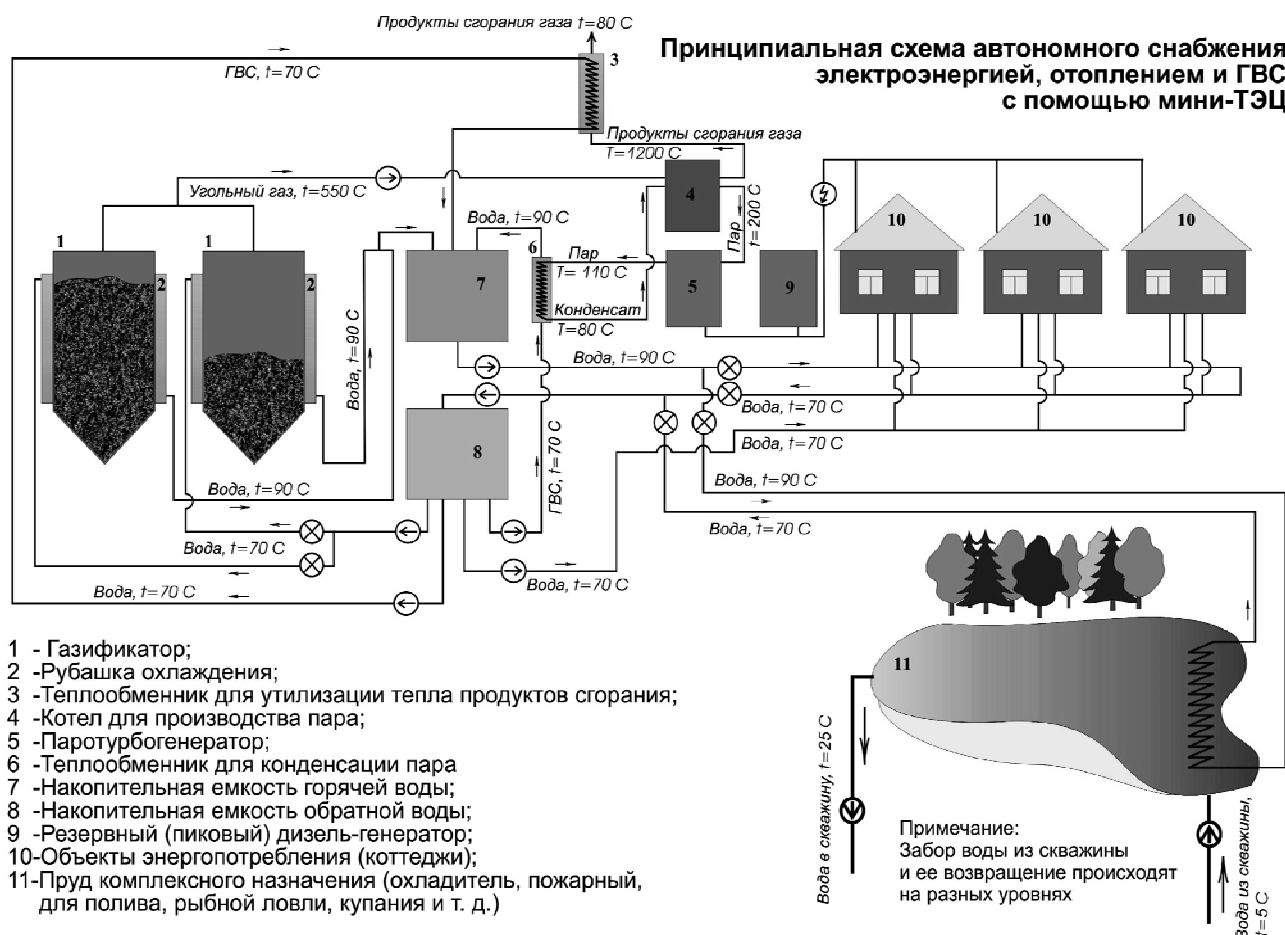
Вид коммунальной услуги	Единица измерения	Тариф		Расход в месяц	Сумма, руб./мес.	
		Существ.	Планир.		Существ.	Планир.
Электроэнергия	кВт·ч	1,48 (0,96*)	0,96	380*	406,40	364,80
Отопление	м ²	20,50	10,25	150	3 075,00	1 537,50
Горячее водоснабжение	м ³	56,70	28,35	15	850,50	425,25
Холодное водоснабжение	м ³	10,70	5,35	24	256,80	128,40
Канализация	м ³	7,40	3,60	39	288,60	144,30
Расходы управляющей компании (охрана, уборка мусора, территории, благоустройство поселка и т.д.)	–	–	–	–	1 300,00	650,00
Итого расходов на один дом	–	–	–	–	6 177,30	3 250,25

* С учетом льгот (до 75 кВт в месяц на человека).

Таблица 2

Капитальные затраты на строительство и запуск ЭТК для поселка в 200 домов средней площадью 150 м² каждый

Наименование	Цена, тыс. руб.	Кол-во	Сумма, тыс. руб.
Газификатор мощностью 3,28 мВт	1 680	4	6 720
Площадка для обслуживания и обвязка	1 400	3	4 200
Парогенератор ПТМ-500	21 000	1	21 000
Дизель-генератор ВДМ-300 2 с автоматизацией	2 800	1	2 800
Паровой котел мощностью 4,5 т пара в час	2 800	1	2 800
Помольно-смешивающий комплекс с аспирацией	3 290	1	3 290
Линия брикетирования	5 400	1	5 400
Универсальный фасовщик («Биг-бэги»)	2 040	1	2 040
Тепловой пункт	5 600	1	5 600
Теплообменник для пруда-охладителя	840	1	840
Станция водоподготовки	1 400	1	1 400
Аккумуляторные емкости для холодной и горячей воды	840	2	1 680
Строительство здания мини-ТЭЦ	3 500	1	3 500
Итого	–	–	61 270



S. G. Bayakin

EXAMPLE OF DOUBLE POWER EFFICIENCY IN HOUSING AND COMMUNAL SERVICES SYSTEM, AT USE OF COAL WITH SIMULTANEOUS MANUFACTURE OF COKE

The presented calculations allow to reveal real advantages of the newest approach to use of young coals. The modern way of the decision of a problem of power supply to the housing and communal services system is offered, allowing to influence decrease in tariffs for the population.

Keywords: power technological complex, technology "Thermocoks".

© Баякин С. Г., 2010

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ УГОЛЬНО-ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ*

Обсуждаются основные экологические, энергетические и экономические проблемы, связанные с использованием традиционных угольных энерготехнологий. Описаны преимущества новейшего подхода к использованию молодых углей, заключающегося в их энерготехнологической переработке с одновременным производством тепловой и электрической энергии, коксовой продукции и водорода. Представлены промышленные примеры использования технологии «Термококс» в России и за рубежом.

Ключевые слова: технология «Термококс», технология «Термококс-КС».

На заре индустриального общества благодаря углю экономика качественно изменилась: заработали паровые машины, задымили заводы и фабрики. Это самый доступный и дешевый энергоноситель, запасы которого есть практически повсеместно, а в России они просто колоссальны. При этом недостатки угля как топлива также велики: сгорает он грязнее, чем мазут или газ, а самый дешевый бурый уголь содержит много влаги, поэтому его сложно и нерентабельно перевозить на большие расстояния (в отличие от нефти и газа, транспортируемых по трубам). Кроме того, угольные разрезы Сибири уникальны, поскольку добыча производится самым эффективным и безопасным открытым способом, в то время как в мире большую часть угля добывают по старинке – в шахтах. В Европе эти шахты сейчас закрыты, так как западноевропейские страны за последние 20–25 лет перевели свою энергетику на использование природного газа. Процесс перевода энергетики с угля и нефти на газ когда-то называли «газовой паузой» в том смысле, что до полномасштабного овладения термоядерной или водородной энергией человечество может воспользоваться голубым топливом.

С 1900 по 2000 гг. потребление энергии в мире увеличилось почти в 15 раз. В качестве первичных источников используются нефтепродукты (34,9 %), уголь (23,5 %), природный газ (21,1 %), ядерное топливо (6,8 %) и возобновляемые источники – ветер, Солнце, гидро- и биотопливо (13,7 %).

Потребность России в электроэнергии удовлетворяется в настоящее время наличием электростанций, суммарной мощностью превышающих 215 млн кВт. Свыше 20 % из них составляют гидроэлектростанции, более 10 % – атомные электростанции и почти 70 % – тепловые электростанции (ТЭС), работающие в основном на природном газе и твердом топливе – энергетическом угле.

Эту ситуацию лауреат международной энергетической премии «Глобальная энергия» академик А. Е. Шейндин прокомментировал так: «Говоря об использовании природного газа, позволю себе высказать крамольную мысль о необходимости прекратить в нашей стране ориентироваться на использование природного газа как основного топлива в электроэнергетике. В электроэнергетике должна быть разработана и осуществляться государственная программа перехода прежде всего на уголь и другие сравнительно малоценные первичные источни-

ки энергии – отходы от газонефтепереработки, сланцы, бытовые отходы, топливо с выработанных и малодебитных месторождений, попутные газы при нефтедобыче и т. п. Говоря об использовании угля, запасы которого у нас в стране исключительно велики, следует обратить особое внимание на наблюдаемое за последние 10–20 лет практически полное прекращение фундаментальных исследований и новых технологических разработок по эффективному использованию угля в энергетике. Здесь и работа по эффективному, экологически чистому сжиганию угля, энергетическому его использованию, переработке угля для получения синтетического жидкого и газообразного топлива, его обогащению вплоть до брикетирования, решение сопутствующих экологических проблем его широкого применения. Нам представляются необходимыми решительные меры перевода тепловой электроэнергетики с преимущественной ориентировки на природный газ в направлении угля».

И с этим мнением нельзя не согласиться за исключением того, что одна уникальная инновационная технология в России все-таки появилась и называется она «Термококс».

Группой ученых Сибирского федерального университета, Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук и компании «Сибтермо» разработана, запатентована и уже много лет промышленно применяется, в том числе и за рубежом, серия технологий, позволяющих получать из огромных запасов самого доступного угля как минимум четыре дороги и крайне необходимых компонента: тепло, электроэнергию, кокс и водород. Суммарные выбросы при этом в 20–30 раз ниже, чем при сжигании угля на традиционных ТЭС и ГРЭС, при полном отсутствии золоотвалов, которые в России ежегодно увеличиваются на 40 млн т.

Основной физический принцип, лежащий в основе этой технологии, – это эффект обратной термической волны. Суть его заключается в том, что при организации технологического процесса с применением данного эффекта уголь разделяется на две составляющие – твердую и газообразную.

Твердая составляющая представляет собой мелкозернистый коксовый остаток с калорийностью около 29 МДж/кг (7 000 ккал/кг). Этот остаток является высокоактивным углеродным восстановителем, который имеет ши-

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (соглашение о порядке целевого финансирования № 27 от 6 мая 2010 г.).

рокие перспективы применения как компонент пылевидного топлива для вдувания в домы, как технологическое топливо в цементной промышленности, при производстве глинозема и т. п. Данный продукт является более эффективным и дешевым заменителем классического кокса, производимого из дефицитных марок коксующихся углей.

Газообразная часть представляет собой топливо с удельной теплотой сгорания $1\,035\text{ ккал/м}^3$ и является заменителем дорогих видов топлива в самых разнообразных приложениях: мазута в котельных, дизельного топлива в поршневых электростанциях и т. д., а также заменителем экспортно-ориентированного стратегического товара – природного газа. Но самое примечательное свойство этого газа – наличие в нем 20 % чистого водорода.

Следует обратить внимание, что эта технология уже давно применяется в реальной экономике. Приведем несколько примеров.

Фабрика по производству буроугольного кокса ЗАО «Карбоника-Ф» (Красноярск) рентабельно работает уже 12 лет, попутно выпуская сорбент, и бесплатно подает горячую воду в городскую теплотрассу, поскольку основная прибыль получается от продажи буроугольного кокса.

Установка по газификации угля для сушки зерна изготовлена и запущена в эксплуатацию в сентябре 2007 г. на ОАО «Балахтинский хлеб». Установка окупилась за один сезон. Удельные затраты на сушку 1 т зерна при сжигании дизтоплива составляют более 200 руб., сырой нефти – 120 руб., газа из угля ~ 30 руб. Таким образом, себестоимость 1 т товарного зерна при сушке газом из угля снижается на 90–170 руб. Газификатор может работать на различных видах топлива: торфяных брикетах, опилках, сланцах и др. В ноябре 2010 г. при софинансировании со стороны Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности запущен серийный образец установки, что крайне актуально для сельского хозяйства в масштабах страны.

Модернизирован энергетический котел КВТС-20 на разрезе «Березовский-1» ОАО «СУЭК». Этот котел, реконструированный под выпуск кокса, выдает паспортную тепловую мощность и производит 20 тыс. т кокса в год. При сохранении действующего энерготарифа кокс имеет условно нулевую стоимость. При расчете от обратного цена кокса с избытком перекрывает эксплуатационные затраты, а тепло имеет условно нулевую стоимость. При этом в 20–30 раз снижено количество вредных выбросов и отсутствуют золоотвалы.

В 2008 г. введен в эксплуатацию комплекс по газификации и брикетированию кокса компании Tugrugnuugyn Energy Co., Ltd. (Монголия). В июле 2010 г. компания «Сибтерм» заключила контракт на реконструкцию ТЭЦ-2 в Улан-Баторе по технологии «Термококс-КС». Кокс будет использован как для производства бездымного бытового топлива (брикетов), так и для экспорта в Китай.

Разработаны энергоблоки малой мощности – от 100...200 кВт до 2...3 МВт, работающие на угольном газе. Такой энергоблок является аналогом дизельного электрогенератора, но работающим не на дизтопливе, а на горячем угольном газе. Топливная составляющая в стоимости 1 кВт · ч снижается с 4,3 руб. (при цене дизтоплива 15 тыс. руб./т) до 0,8 руб. (при цене угля 450 руб./т), т. е.

как минимум в пять раз. Окупаемость энергоблока достигается за 3 000...4 000 ч работы. Проведены его опытные испытания. Пилотный энергоблок по заказу Латвии совместно с Чехией планируется установить в Академгородке Красноярска.

Газовое топливо из угля может использоваться как заменитель классических видов топлива в самых разнообразных отраслях промышленности:

- в печах обжига известняка, магнезита, других строительных материалов и руд;
- на кирпичных заводах;
- в сушильных агрегатах различного назначения;
- котельных на угле, природном газе или мазуте;
- газопоршневых электростанциях;
- сельском хозяйстве при сушке зерна, производстве спирта, сахара и других процессах термической переработки продукции.

На основе принципа обратной термической волны также разработаны кардинально новые технологии, экономическая эффективность которых кратно превосходит известные зарубежные аналоги, – технологии получения синтез-газа для производства жидкого топлива из угля, превращения угля в заменитель природного газа (метана) и получения водорода.

Все технологические процессы готовы к немедленному коммерческому использованию.

Отдельно остановимся на получении водорода. Технология «Термококс» кардинально меняет устоявшееся мнение, обобщенное академиком А. Е. Шейндлиным: «Водород нельзя называть источником энергии. В природе он находится в связанном виде, входя в состав воды, тех или иных природных углеводов, биомассы, различных органических отходов. Получение водорода из этих химических соединений требует затрат энергии. Поэтому водород следует рассматривать как искусственный промежуточный энергоноситель...».

В технологии «Термококс» водород легко выделяется из угольного газа с помощью мембранной технологии. Мембранная технология уже хорошо изучена и применяется уже более 20 лет. Основное преимущество водородных мембранных установок заключается в их простоте и надежности при небольших весе и габаритах. Таким образом, основная задача водородной энергетики будущего – получение дешевого водорода – может быть решена благодаря технологии «Термококс».

Применение технологии «Термококс» позволяет добиться следующих результатов:

- в области энергетики – нефтегазозамещение, автономное энергоснабжение ЖКХ, промышленности и сельского хозяйства, создание новых видов топлива (водорода, генераторного газа, угольной суспензии, топливных брикетов, жидкого топлива и др.);
- экономики – двукратная эффективность при комплексном использовании бурых углей в энергетике и металлургии;
- экологии – снижение атмосферных выбросов в несколько раз при полном отсутствии шламовых полей и золоотвалов;
- в социальной сфере – производство дешевого газа из угля, которое позволит радикально снизить или зафик-

сировать тарифы на тепло и электроэнергию для населения, обеспечить производство дешевых стройматериалов и соответственно – доступное жилье. Строительство (реконструкция) ТЭЦ и ГРЭС по технологии «Термококс» обеспечивает создание новых рабочих мест на высокотехнологичных производствах.

2 июля 2009 г. Президент Российской Федерации Д. А. Медведев провел в Архангельске совещание по энергоэффективности, на котором с сожалением констатировал, что Россия радикально отстала от ведущих стран в области энергетических технологий (энергоемкость ВВП в 3,5 раза больше, чем средневропейский показатель). В то же время сложившаяся к настоящему времени промышленная структура отторгает любые инновации. Однако без радикального изменения ситуации в области энергопотребления вступление России в ВТО приведет к тому, что она окажется просто неконкурентоспособной на мировом рынке.

Согласно Энергетической стратегии России до 2020 г., в топливном балансе страны предусматривается последовательное замещение природного газа углем. По разным сценариям развития объем его потребления к 2020 г. должен возрасти в 1,5–2 раза. А для обеспечения экологической безопасности страны необходимо создание эко-

логически чистых энерго- и ресурсосберегающих малоотходных и безотходных технологий, обеспечивающих рациональное производство и использование топливно-энергетических ресурсов, снижение выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в окружающую среду.

Красноярскими учеными выполнен большой объем работ в Монголии, Латвии, готовятся к реализации контракты в Турции. Большой интерес к технологии «Термококс» проявляется со стороны Южной Кореи, Австралии, Индии, Индонезии. Весьма вероятно, что после строительства первого монгольского крупномасштабного предприятия, основными инвесторами которого являются китайские фирмы, технология «Термококс» безвозвратно, контрафактным путем уйдет в Китай, который богат бурым углем, импортирует кокс, нуждается в энергии и очень быстро развивается.

России от угольной до водородной энергетики действительно остался только один шаг. И сделать его, безусловно, должно только руководство страны. И не уговорами, а решительным законодательным образом. Необходимо собрать за одним столом металлургов, угольщиков, коммунальщиков, энергетиков и объявить им о полной термоокислительной газификации всей страны, а за выбросы и отходы назначить штрафы вплоть до полного банкротства.

S. G. Bayakin, M. C. Zalikhanov

MODERN ASPECTS OF COAL-HYDROGEN POWER

The basic ecological power and economic problems connected with use of traditional coal power technologies are discussed. Advantages of the newest approach to use of the young coals, consisting in power technological processing with simultaneous manufacture of thermal and electric energy, коксовой production and hydrogen are described. Industrial examples of use of technology are presented "Thermocoks" in Russia and abroad.

Keywords: technology "Thermocoks", technology "Thermocoks-KS".

© Баякин С. Г., Залиханов М. Ч., 2010

С. В. Беляев, И. Ю. Губанов, П. О. Широков, А. В. Салатов, И. Ю. Маслов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ УСЛОВИЯМИ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ*

Приведены результаты исследования теплового взаимодействия в системе «деформируемый металл – принудительно охлаждаемый прессовый инструмент». Представлены аналитические зависимости для определения температурных условий с учетом изменения реологии деформируемого металла при полунепрерывном прессовании алюминиевых сплавов. Научно обосновано применение принудительного охлаждения прессового инструмента. Представлены технические решения для управления тепловыми условиями процесса прессования. Проведено сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными.

Ключевые слова: полунепрерывное прессование алюминиевых сплавов, тепловое взаимодействие, принудительно охлаждаемый прессовый инструмент.

Повышение эффективности производства не перестает быть актуальным на всех этапах научно-технического прогресса. В металлургической промышленности данная задача решается путем совершенствования действующих и создания новых технологических процессов с целью повышения производительности труда и качества продукции.

Алюминиевые сплавы, благодаря ценным эксплуатационным и технологическим свойствам, по распространённости являются вторыми в мире после стали среди металлических конструкционных материалов. На долю пресс-изделий из алюминиевых сплавов приходится более 20 % от всего объема производства, что составляет более 5,0 млн т профилей с сортаментом более 25 тыс. типоразмеров. Пресс-изделия из алюминиевых сплавов находят широкое применение в промышленности, а главными их потребителями являются такие важные отрасли, как строительство и транспорт.

Основным способом производства профилей из алюминиевых сплавов является прямое прессование на мощных гидравлических прессах, которое отличается недостаточной эффективностью. Прессование, как правило, проводится без смазки и связано со значительными энергозатратами. Повышение скорости прессования вызывает рост выходной температуры пресс-изделия, и при достижении вполне определенных для каждого алюминиевого сплава предельных температур происходит разрушение пресс-изделия, т. е. тепловые условия прессования алюминиевых сплавов оказывают решающее влияние на эффективность всего производства пресс-изделий. Поэтому разработка научно обоснованных технических и технологических решений для управления тепловыми условиями процесса прессования с целью повышения эффективности производства пресс-изделий из алюминиевых сплавов, несомненно, является актуальной научно-технической проблемой [1].

В последнее время появилось множество новых методов управления тепловыми условиями при прессова-

нии, что поставило задачу проведения классификации этих методов для оценки их эффективности и областей применения. Впервые на основе анализа научно-технической и патентной литературы предложена схема классификации методов управления тепловыми условиями при прессовании, учитывающая особенности их реализации (рис. 1). Установлено, что одним из эффективных методов управления тепловыми условиями процесса прессования алюминиевых сплавов является принудительное испарительное охлаждение прессового инструмента, в частности принудительно охлаждаемой форкамерной матрицы (ПОФМ). Однако промышленное внедрение этого процесса сдерживается отсутствием необходимых теоретических и экспериментальных исследований [2].

Разрешение данной проблемы невозможно без анализа тепловых условий процесса прессования в зависимости от основных технологических параметров. Тепловое взаимодействие при прессовании, как и при любом процессе обработки металлов давлением, является чрезвычайно сложным (рис. 2), поэтому анализ теплового взаимодействия при прессовании с ПОФМ может быть сведен к решению сопряженной краевой задачи нестационарной теплопроводности при граничных условиях второго и четвертого рода.

Условия поставленной задачи в математической форме представлены в виде системы двух дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности с краевыми условиями, соответствующими данному виду прессования:

$$\begin{cases} a_1 \frac{\partial^2 T_1(x, t)}{\partial x^2} - \frac{\partial T_1(x, t)}{\partial t} + \frac{q_v}{c_1 \rho_1} = 0 \\ \text{при } 0 \leq x < |\pm R|, \\ a_2 \frac{\partial^2 T_2(x, t)}{\partial x^2} - \frac{\partial T_2(x, t)}{\partial t} = 0 \\ \text{при } |\pm R| \leq x < |\pm H|, \quad t > 0, \end{cases} \quad (1)$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект № 58-КФ).

со следующими краевыми условиями:

$$\begin{cases} T_1(x, 0) = T_{10}; T_2(x, 0) = T_{20}, \\ T_1(\pm R, t) = T_2(\pm R, t), \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1(x, t)}{\partial x} = 0 \text{ при } x = 0, \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1(x, t)}{\partial x} - \lambda_2 \frac{\partial T_2(x, t)}{\partial x} = q_\tau \text{ при } x = \pm R, \\ \lambda_2 \frac{\partial T_2(x, t)}{\partial x} = q_0 \text{ при } x = \pm H. \end{cases} \quad (2)$$

Для решения поставленной задачи нестационарной теплопроводности применяется аналитический метод интегральных преобразований Лапласа [3]. Этот метод имеет ряд преимуществ перед другими классическими методами благодаря стандартности методик и получению решений в виде, удобном для расчета и теоретического анализа. Температура пресс-изделия принимается равной сумме изменений температур во время прохождения деформируемым металлом характерных термодинамических зон, отличающихся по интенсивности и характеру расположения источников тепла во время прессования.

Так, для полунепрерывного прессования выявлены следующие термодинамические зоны: подход прессуемого металла к очагу деформации в контейнере; очаг деформации в контейнере; подход прессуемого металла к очагу деформации в ПОФМ; очаг деформации в ПОФМ; пребывание прессуемого металла в рабочем канале матрицы. Поэтому выходную температуру профиля можно вычислить по формуле

$$T_{пр}(t) = T_{10} + \Delta T_{1к}(t_k) + \Delta T_{1кд}(t_{кд}) + \Delta T_{1ф}(t_\phi) + \Delta T_{1фд}(t_{фд}) + \Delta T_{1м}(t_m), \quad (3)$$

где $t_1 = t_k + t_{кд} + t_\phi + t_{фд} + t_m$ – время прессования элементарного блока металла, состоящее из времени пребывания в контейнере до подхода к очагу деформации t_k , времени пребывания в очаге деформации в контейнере $t_{кд}$, времени пребывания в ПОФМ до подхода к очагу деформации t_ϕ , времени пребывания в очаге деформации в ПОФМ $t_{фд}$ и времени прохождения через рабочий пояс матрицы t_m ; $\Delta T_{1к}, \Delta T_{1кд}, \Delta T_{1ф}, \Delta T_{1фд}, \Delta T_{1м}$ – изменение температуры элементарного блока металла во время прохождения вышеперечисленных характерных зон.

Изменение температуры деформируемого металла во время пребывания в каждой термодинамической

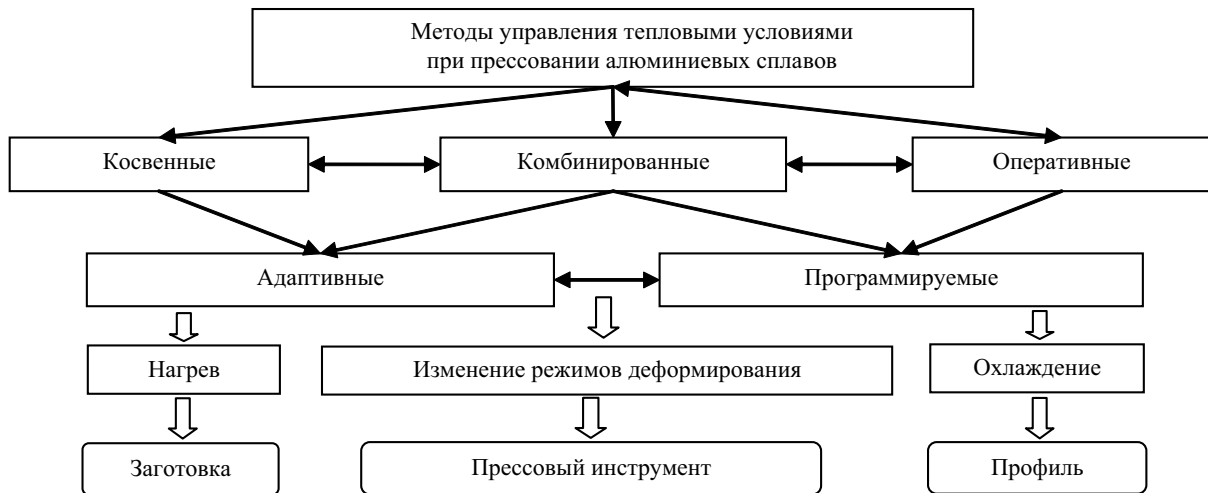


Рис. 1. Классификация методов управления тепловыми условиями при прессовании

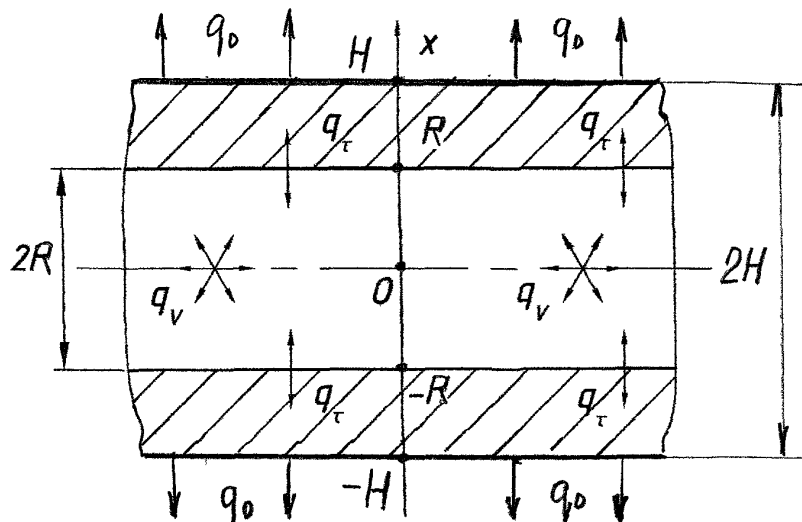


Рис. 2. Схема теплового взаимодействия при полунепрерывном прессовании через ПОФМ:
1 – деформируемый металл; 2 – формкамерная матрица

зоне определяется на основе уравнения теплового баланса:

$$c_1 \rho_1 V_{li} \Delta T_{li} = F_{\kappa_i} \int_0^{\Delta t_i} q_{\tau}(R, t) dt + V_{li} \int_0^{\Delta t_i} q_V(t) dt, \quad (4)$$

где V_{li} и F_{κ_i} – объем и поверхность контакта i -й термодинамической зоны; $q_{\tau i}$ и q_{Vi} – плотности источников тепла на поверхности и в объеме очага деформации i -й термодинамической зоны; ΔT_{li} – изменение температуры во время прохождения t_i деформируемым металлом i -й термодинамической зоны.

При помощи уравнения теплового баланса также найдено изменение температуры ПОФМ во время контакта с деформируемым металлом:

$$c_2 \rho_2 V_{2\phi} \Delta T_{2\phi} = F_{\text{н.ф.}} \int_0^{t_{\phi_0}} q_2(R, t) dt - F_0 \int_0^{t_{\phi_0}} q_0(H, t) dt, \quad (5)$$

где $V_{2\phi} = \pi(H^2 - R^2)L_{\phi}$ – объем втулки ПОФМ; L_{ϕ} – длина ПОФМ; $F_0 = 2\pi H L_{\phi} k_0 = F_{\text{н.ф.}} k_0$ – поверхность охлаждения ПОФМ; k_0 – коэффициент охлаждения поверхности, равный отношению площади каналов к общей площади наружной поверхности втулки ПОФМ.

В результате решения поставленной задачи получены следующие аналитические зависимости для расчета тепловых условий при полунепрерывном прессовании с применением ПОФМ:

– для выходной температуры пресс-изделия:

$$\begin{aligned} T_{\text{п.р.}}(t) = T_{10} + \frac{1}{c_1 \rho_1} \left\{ \frac{4t_{\kappa}}{(k_1 + 1)D_{\kappa}} \times \right. \\ \times (q_{\text{т.р.к.}} k_1 - \frac{2\Delta T_0 \cdot b_1}{\sqrt{\pi \cdot t_{\kappa}}}) + \frac{2q_{V_{\kappa.д.}} \sqrt{a_1 t_{\kappa}}}{3\sqrt{\pi}(v_{\text{п.р.}} + 3, 2\sqrt{a_1/t_{\kappa}})} + \\ + \frac{F_{\kappa.д.} \cdot t_{\kappa.д.}}{(k_1 + 1) \cdot V_{\kappa.д.}} (q_{\text{т.р.к.д.}} \cdot k_1 - \frac{4q_{V_{\kappa.д.}}}{3} \times \\ \times \sqrt{\frac{a_1 \cdot t_{\kappa.д.}}{\pi}} - \frac{2\Delta T_{\kappa.д.} \cdot b_1}{\sqrt{\pi \cdot t_{\kappa.д.}}}) + q_{V_{\kappa.д.}} \cdot t_{\kappa.д.} (1 - \frac{2K_{\text{т.р.}} F_{\kappa}}{3V_{\kappa.д.}} \sqrt{\frac{a_1 t_{\kappa.д.}}{\pi}}) + \\ + \frac{t_{\phi}(F_{\text{н.ф.}} - F_{\text{н.ф.д.}})}{(V_{\phi} - V_{\phi.д.} - V_{\text{р.}})} \left\{ -\frac{2\Delta T b_2}{(k_1 + 1)\sqrt{t_{\phi}}} \times \right. \\ \times [\frac{1}{\sqrt{\pi}} + i\text{erfc}(\frac{H-R}{\sqrt{a_2 t_{\phi}}})] + \frac{q_{\text{т.р.ф.}}}{k_1 + 1} [k_1 + 4i^2 \text{erfc}(\frac{H-R}{\sqrt{a_2 t_{\phi}}})] - \\ - 4q_0 i^2 \text{erfc}(\frac{H-R}{\sqrt{a_2 t_{\phi}}}) \} + \frac{F_{\text{н.ф.д.}} \cdot t_{\phi.д.}}{(V_{\phi.д.} - V_{\text{р.}})} \times \\ \times \{ -\frac{4q_{V_{\phi}} \sqrt{a_1 t_{\phi.д.}}}{k_1 + 1} [\frac{1}{3\sqrt{\pi}} - 2i^3 \text{erfc}(\frac{H-R}{\sqrt{a_2 t_{\phi.д.}}})] - \\ - \frac{2\Delta T b_2}{(k_1 + 1)\sqrt{t_{\phi.д.}}} [\frac{1}{\sqrt{\pi}} + i\text{erfc}(\frac{H-R}{\sqrt{a_2 t_{\phi.д.}}})] + \\ + \frac{q_{\text{т.р.ф.д.}}}{k_1 + 1} [k_1 + 4i^2 \text{erfc}(\frac{H-R}{\sqrt{a_2 t_{\phi.д.}}})] - \\ - 4q_0 i^2 \text{erfc}(\frac{H-R}{\sqrt{a_2 t_{\phi.д.}}}) \} + \frac{q_{V_{\phi}} t_{\phi.д.} V_{\phi.д.}}{(V_{\phi.д.} - V_{\text{р.}})} + \\ + \frac{t_{\text{м}} \Pi_{\text{пр}}}{F_{\text{п.р.}}(k_1 + 1)} (q_{\text{т.р.м.}} \cdot k_1 - \frac{2\Delta T_{\text{м.п.р.}} \cdot b_1}{\sqrt{\pi \cdot t_{\text{м}}}}) \}; \end{aligned} \quad (6)$$

– изменение температуры ПОФМ:

$$\begin{aligned} \Delta T_{2\phi} = \frac{4t_{\phi_0} F_{\text{н.ф.}}}{c_2 \rho_2 V_{2\phi}} \left\{ \frac{q_{V_{\phi}} \sqrt{a_1 t_{\phi_0}}}{k_1 + 1} [\frac{1}{3\sqrt{\pi}} - \right. \\ - 2i^3 \text{erfc}(\frac{H-R}{\sqrt{a_2 t_{\phi_0}}})] + \frac{\Delta T_{\phi} b_2}{2(k_1 + 1)\sqrt{t_{\phi_0}}} [\frac{1}{\sqrt{\pi}} + \\ + i\text{erfc}(\frac{H-R}{\sqrt{a_2 t_{\phi_0}}})] + \frac{q_{\text{т.р.ф.}}}{4(k_1 + 1)} - \\ - (\frac{q_{\text{т.р.ф.}}}{k_1 + 1} + q_0) i^2 \text{erfc}(\frac{H-R}{\sqrt{a_2 t_{\phi_0}}}) - \frac{q_0 k_0}{4} \}, \end{aligned} \quad (7)$$

где c_1, ρ_1 – теплоемкость и плотность прессуемого металла; D_{κ} – диаметр контейнера; $b_i = \sqrt{\lambda_i c_i \rho_i}$; λ_i, a_i – коэффициенты аккумуляции тепла, теплопроводности и температуропроводности материалов заготовки (индекс 1), контейнера и ПОФМ (индекс 2); $k_1 = b_1/b_2$; $\Delta T_0 = T_{10} - T_{20}$, здесь T_{10} и T_{20} – начальные температуры нагрева заготовки и контейнера; $q_{\text{т.р.}}$ и q_V – плотность источников тепла на поверхности и в объеме прессуемого металла в различных зонах. Значения функций $i^2 \text{erfc}(x)$, $i\text{erfc}(x)$, $\text{erfc}(x)$, $\text{erf}(x)$,

($i^n \text{erfc}(x) = \int_x^{\infty} i^{n-1} \text{erfc}(x) dx$, $\text{erf}(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-x^2} dx$) затабули-

рованы и с точностью до пятого знака после запятой приведены в монографии А. В. Лыкова [3].

Точность расчетов в значительной мере зависит от правильности выбора уравнений реологии прессуемого металла. На основе анализа экспериментальных данных, полученных при определении сопротивления деформации от основных параметров деформирования в работе [4], была предложена достаточно обоснованная зависимость для прессуемых алюминиевых сплавов в виде

$$\sigma_s = A \varepsilon^B \cdot \xi^C \cdot \exp(-D \cdot T_{\text{п.р.}}), \quad (8)$$

где A, B, C, D – реологические коэффициенты; $\varepsilon = \ln \lambda$ – степень деформации; $\xi = \varepsilon/t$ – скорость деформации; $T_{\text{п.р.}}$ – температура прессования, °С.

Изменение сопротивления деформации прессуемого металла во время прессования учитывается при определении среднего сопротивления деформации $\sigma_{s_{\text{ср.}}}$ деформируемого металла в каждой характерной зоне [2]:

$$\sigma_{s_{\text{ср.}}} = \sqrt{\sigma_{s_{\text{н.}}} \cdot \sigma_{s_{\text{к.}}}}, \quad (9)$$

где $\sigma_{s_{\text{н.}}}$, $\sigma_{s_{\text{к.}}}$ – сопротивления деформации прессуемого металла в начале и конце характерной зоны.

На основе полученной математической модели разработан алгоритм расчета для определения тепловых условий полунепрерывного процесса прессования при использовании ПОФМ с учетом изменения реологии деформируемого металла, который был реализован в программе Microsoft Excel, что позволяет при дискретном вводе исходных данных исследовать тепловые условия при прессовании. Практическое применение полученного решения не требует специальной подготовки инженерно-технического персонала и делает возможным анализ влияния основных параметров процесса на изменение тепловых условий при прессовании для последующей разработки оптимальной технологии производства про-

филей или для создания автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП).

Для управления тепловыми условиями полунепрерывного прессования алюминиевых профилей на базе горизонтального гидравлического пресса усилием 25 МН была создана АСУТП [5], обеспечивающая оперативное достижение оптимальных режимов прессования за счет экспресс-анализа сопротивления деформации прессуемого металла в режиме реального времени и позволяющая управлять тепловыми условиями прессования с помощью ПОФМ [6].

Автоматизированная система управления технологическим процессом (рис. 3) включает в себя гидравлический пресс, содержащий управляющую ЭВМ, связанную с датчиками и регуляторами температур нагрева заготовки (ДРТЗ) и прессового инструмента (ДРТК), датчиком скорости прессования (ДРВ), датчиком выходной температуры профиля (ДТПр), регулятором охлаждения прессового инструмента (ДРХ) и дефектоскопом для контроля за качеством профиля на выходе из канала матрицы. Управляющая ЭВМ дополнительно снабжена блоком реологии прессуемого металла, который связан с датчиками давления в главном цилиндре пресса (ДУП) и текущего положения пресс-штемπεля (ДПП).

Конструкция ПОФМ в дальнейшем была усовершенствована. Новая ПОФМ имеет выступ, на котором расположено наружное кольцо, внутри выступа находится рабочая полость форкамеры, при этом наружная поверхность выступа эквидистантна внешнему контуру рабочей полости форкамеры и снабжена охлаждающими каналами (рис. 4, 5).

Результаты расчетов по приведенной выше методике были сопоставлены с экспериментальными данными при прессовании строительного профиля КП 45302-1 из сплава АД31 на горизонтальном гидравлическом прессе усилием 25 МН с применением принудительно охлаждаемой форкамерной матрицы (рис. 6).

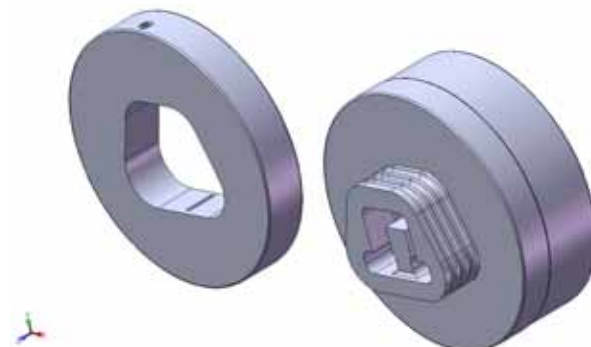


Рис. 4. Трехмерная модель ПОФМ

Прессование проводилось из контейнера диаметром 225 мм с использованием заготовки размерами 215 × 780 мм. Скорость прессования была близкой к предельной и составляла 10 мм/с. Выходная температура профиля на выходе из канала матрицы замерялась с помощью пирометрического сканирующего устройства. Достаточная сходимость расчетных и экспериментальных данных (расхождение не более 5 %) доказывает возможность применения разработанной модели для инженерных расчетов температурных условий полунепрерывного прессования.

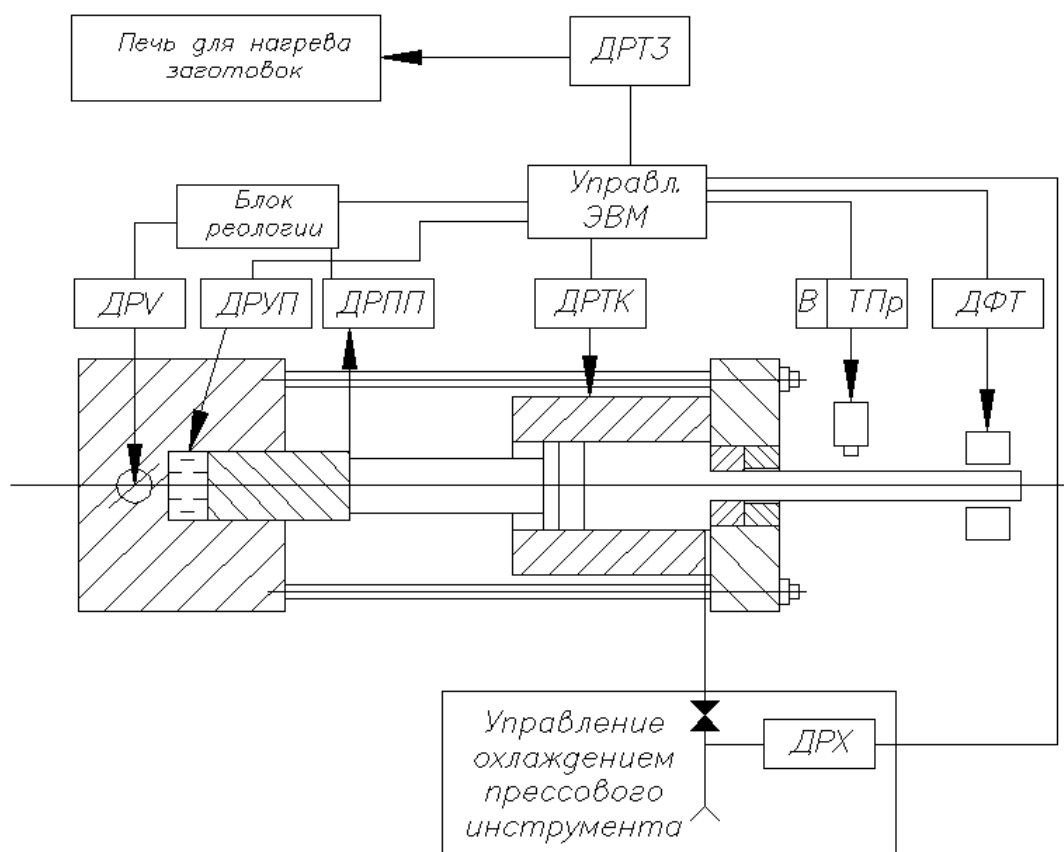


Рис. 3. Блок-схема АСУТП [5] (обозначения см. в тексте)

Внедрение данного технического решения позволит повысить производительность процесса прессования до 20 % и увеличить выход годных пресс-изделий. Кроме того, установлено, что пресс-изделия, полученные с использованием ПОФМ, по структуре и свойствам аналогичны пресс-изделиям, изготовленным по штатной технологии, т. е. повышение производительности процесса прессования происходит без ухудшения качества продукции.

Таким образом, в результате проведенных исследований создана математическая модель для определения тепловых условий полунепрерывного процесса прессования при использовании ПОФМ с учетом изменения реологии деформируемого металла; разработан научно обоснованный комплекс технических и технологических решений, обеспечивающий повышение эффективности производства пресс-изделий из алюминиевых сплавов за счет управления тепловыми условиями процесса прессования.

Библиографические ссылки

1. Расчет контактных напряжений при совмещенной прокатке-прессовании / С. В. Беляев, Н. Н. Довженко, С. Б. Сидельников и др. // Техника и технология. 2009. Т. 4, № 2. С. 418–426.
2. Прессование алюминиевых сплавов: моделирование и управление тепловыми условиями : монография / Н. Н. Довженко, С. В. Беляев, С. Б. Сидельников и др. ; Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2009.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М. : Высш. шк., 1967.

4. Вывод уравнений связи свойств алюминиевых сплавов с параметрами горячего деформирования / Я. М. Охрименко, В. Н. Щерба, А. В. Недугов и др. // Цв. металлы. 1983. № 2. С. 66–69.

5. Пат. на полез. модель 71570 Российская Федерация, МПК В 21 С 22/08. Устройство для прямого прессования профилей / С. В. Беляев, С. Б. Сидельников, И. Н. Довженко и др. № 2007142066/22 ; заявл. 13.11.2007 ; опубл. 20.03.2008, Бюл. № 8.

6. Пат. на полез. модель 68936 Российская Федерация, МПК В 21 С 29/04, В 21 С 35/02. Матрица для прессования изделий / С. В. Беляев, С. Б. Сидельников, Н. Н. Довженко и др. № 2007128440/22 ; заявл. 23.07.2007 ; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 34.

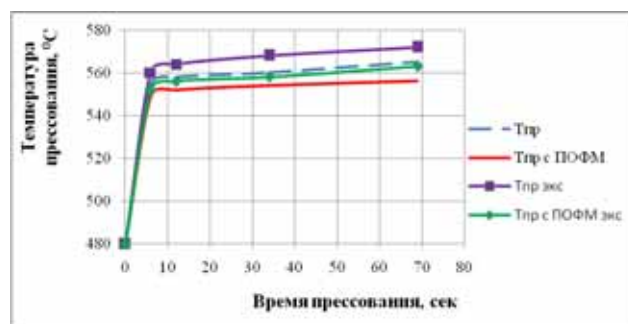
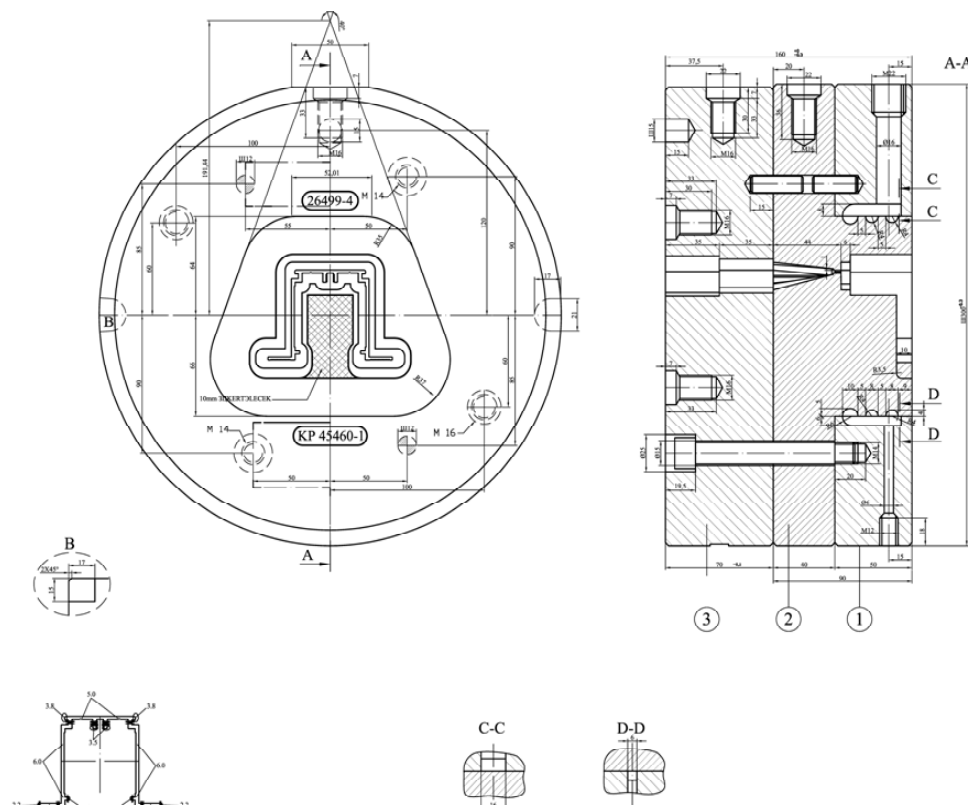


Рис. 6. Изменение выходной температуры строительного профиля КП 45302-1 из сплава АД31 при полунепрерывном прессовании на горизонтальном гидравлическом прессе усилием 25 МН: $T_{пр}$ и $T_{пр с ПОФМ}$ — расчетные значения выходной температуры профиля без и с использованием ПОФМ соответственно; $T_{пр экс}$ и $T_{пр с ПОФМ экс}$ — экспериментальные значения



S. V. Belyaev, I. Yu. Gubanov, P. O. Shirokov, A. V. Salatov, I. Yu. Maslov

THE ENHANCEMENT OF PRODUCTIVE EFFICIENCY OF THE PRESS-ARTICLES FROM ALUMINUM ALLOYS ON THE OPERATION BASE OF THERMAL CONDITIONS OF THE EXTRUSION

The research results of the thermal interaction in the system deformed metal and press toolage are made. The following analytical dependences of the definition the temperature conditions are presented for the semicontinuous extrusion of aluminum alloys with a glance of the deformed metal rheology. The forcibly cooled application of the press toolage is substantiated scientifically. The engineering solution for the control of the thermal conditions of the extrusion is presented. The comparison of results of calculation to experimental data is lead

Keywords: semicontinuous extrusion of aluminum alloys; thermal interaction; forcibly cooled extrusion toolage.

© Беляев С. В., Губанов И. Ю., Широков П. О., Салатов А. В., Маслов И. Ю., 2010

УДК 621.791.72

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев, Т. Г. Вейсвер

КОНТРОЛЬ ГЛУБИНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ*

Рассмотрена возможность контроля глубины проплавления по рентгеновскому излучению при электронно-лучевой сварке.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, рентгеновское излучение, глубина проплавления.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что рентгеновское излучение (РИ), регистрируемое со стороны ввода электронного луча, несет информацию о глубине проплавления и предполагает ряд способов выявления требуемой информации [1]. Одним из таких способов может быть определение положения максимума интенсивности рентгеновского излучения, соответствующего текущей глубине проплавления при заданных режимах электронно-лучевой сварки (ЭЛС) (рис. 1).

На основании достаточного количества экспериментов (рис. 1, а) установлено, что если ось ординат $J(z)$ переместить по глубине канала проплавления в положение, соответствующее максимуму интенсивности РИ, а ось абсцисс поднять на уровень интенсивности РИ, соответствующий среднему значению интенсивности в канале проплавления (рис. 1, б), то в области, близкой к глубине проплавления, экспериментальную зависимость можно аппроксимировать выражением

$$J(z) = J_{\max} e^{-0,4z^2}, \quad (1)$$

где z – отклонение глубины проплавления от заданной в процентах от этой глубины (рис. 2).

Рентгеновское излучение регистрируется датчиком, ось коллиматора которого расположена под углом φ к направлению пучка электронов и, следовательно, к оси z канала проплавления (рис. 1, в). В связи с этим перемещение пятна нагрева по оси z проецируется на ось z' ,

перпендикулярную оси коллиматора в соответствии с соотношением

$$z' = z \sin \varphi.$$

Очевидно, что изменение интенсивности РИ, регистрируемого датчиком, перемещаемым в направлении, параллельном оси z , или изменение интенсивности вследствие перемещения пятна нагрева в том же направлении связано с наличием составляющей перемещения в направлении оси z' (рис. 3). При этом, ввиду распределения РИ, близкого к сферическому, $J(z) = J(z')$.

На датчик попадает часть рентгеновского излучения $J_d(z)$ в пределах, ограниченных шириной коллиматора Δ , величина которой по оси z составляет $\Delta/\sin \varphi$ и определяется выражением

$$J_d(\varepsilon_z) = J_{\max} \int_{-\frac{\Delta}{2\sin \varphi}}^{\frac{\Delta}{2\sin \varphi}} e^{-0,4(z-\varepsilon_z)^2} dz, \quad (2)$$

где $e^{-0,4(z-\varepsilon_z)^2}$ – плотность распределения рентгеновского излучения по оси z ; ε_z – смещение пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления (рис. 4).

Представим ε_z в виде

$$\varepsilon_z = \varepsilon_{z_0} + \varepsilon_{zm} \sin \alpha, \quad (3)$$

где ε_{z_0} – постоянная составляющая смещения пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления;

* Работа выполнена при финансовой поддержке АБЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 2957).

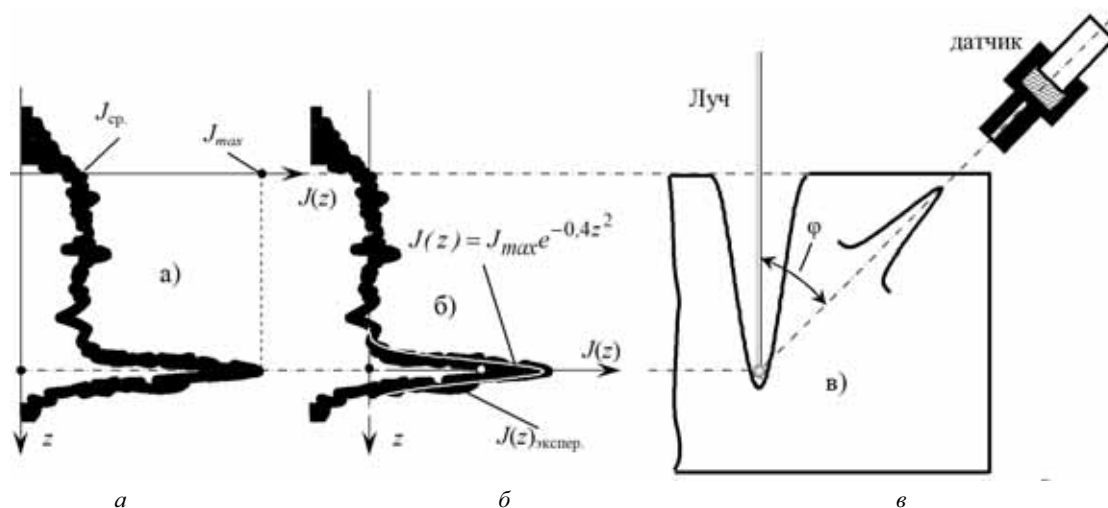


Рис. 1. Распределение интенсивности РИ по глубине канала проплавления: а – распределение РИ, полученное экспериментально; б – аппроксимация экспериментальной кривой; в – схема регистрации РИ

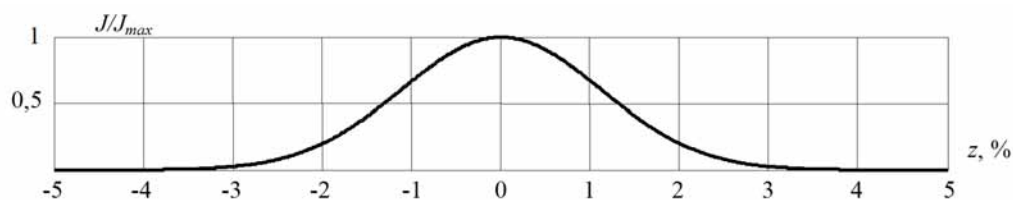


Рис. 2. Распределение интенсивности РИ по глубине канала проплавления в области, близкой к заданной глубине проплавления

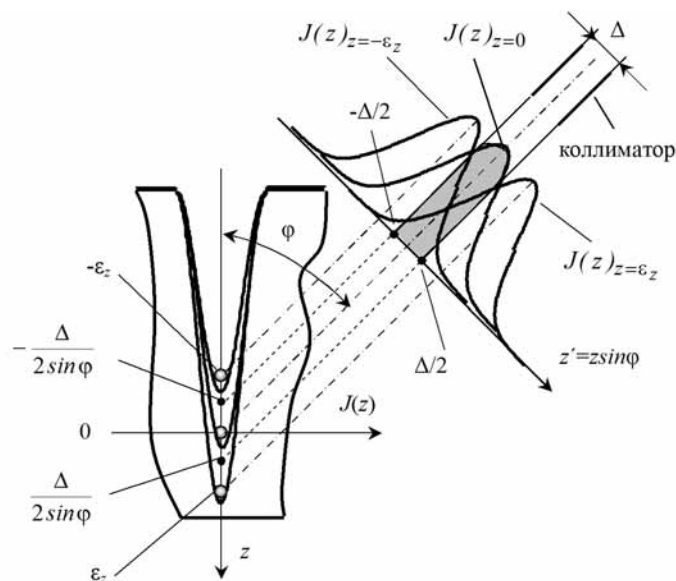


Рис. 3. К определению интенсивности РИ, регистрируемого датчиком

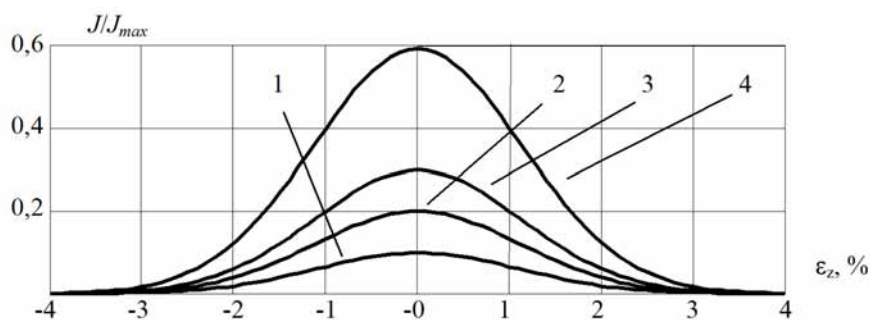


Рис. 4. Зависимость интенсивности РИ от смещения пятна нагрева: материал АМг-6; глубина проплавления 30 мм; $\varphi = 45^\circ$; 1 – $\Delta = 0,05$; 2 – $\Delta = 0,1$; 3 – $\Delta = 0,15$; 4 – $\Delta = 0,2$ мм

ε_{zm} – амплитуда переменной составляющей смещения пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления; $\alpha = \omega t$, здесь ω – частота переменной составляющей, t – время.

Представление (3) отражает тот факт, что в положение пятна нагрева введено поисковое движение с частотой ω и амплитудой ε_{zm} . Это может быть реализовано, например, введением переменной составляющей в ток электронного сварочного луча или в ток фокуса при ЭЛС с фокусировкой, при которой формируется максимальная глубина проплавления, либо колебаниями коллиматора относительно проекции пятна нагрева.

При подстановке (3) в (2) последнее выражение может быть представлено рядом Фурье в тригонометрической форме:

$$J_d(\varepsilon_{z0}) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos \alpha + b_k \sin \alpha),$$

где a_0 – постоянная составляющая:

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} J_{\max} \int_{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}}^{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}} e^{-0,4(z-\varepsilon_{z0}-\varepsilon_{zm}\sin\alpha)^2} dz d\alpha; \quad (4)$$

a_k, b_k – коэффициенты Фурье:

$$a_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} J_{\max} \int_{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}}^{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}} e^{-0,4(z-\varepsilon_{z0}-\varepsilon_{zm}\sin\alpha)^2} dz \cos k\alpha d\alpha, \quad (5)$$

$$b_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} J_{\max} \int_{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}}^{\frac{\Delta}{2\sin\varphi}} e^{-0,4(z-\varepsilon_{z0}-\varepsilon_{zm}\sin\alpha)^2} dz \sin k\alpha d\alpha. \quad (6)$$

Выражения (4)–(6) представляют собой математическую модель рентгеновского датчика глубины проплавления.

Анализ приведенных соотношений и графиков, построенных в соответствии с ними, свидетельствует о том, что при наличии в положении пятна нагрева поискового движения по глубине канала проплавления спектральный состав РИ дополняется составляющими с частотами, кратными частоте поискового движения, и амплитудами, находящимися в определенной зависимости от положения пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления. Так, если положение пятна нагрева совпадает с осью рентгеновского датчика, то a_0 и амплитуды косинусоидальных составляющих $a_2, a_4, \dots$ (четные гармоники) максимальны (рис. 5).

В то же время амплитуды синусоидальных составляющих с частотами $(2n+1)\omega$, где $n = 0, 1, \dots$, пропорциональны в некоторых пределах смещению пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления. Они равны нулю при отсутствии смещения и меняют знак при изменении направления смещения пятна нагрева относительно заданного положения (рис. 6), что свидетельствует об изменении фазы колебаний данной составляющей на 180° .

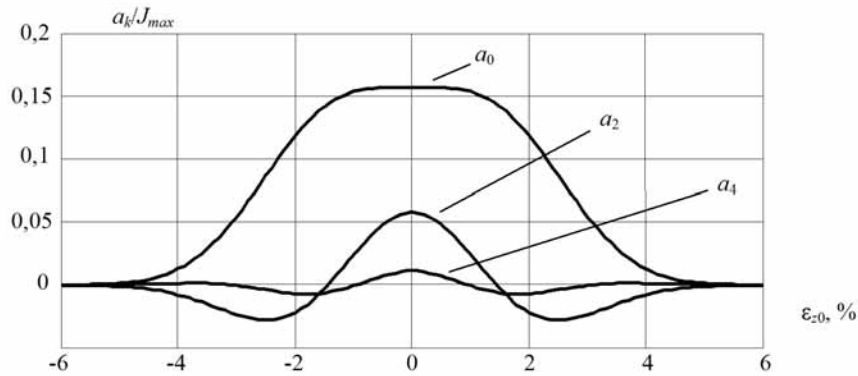


Рис. 5. Зависимости постоянной a_0 и амплитуд косинусоидальных составляющих от смещения пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления: $\Delta = 0,1$ мм; $\varphi = 45^\circ$

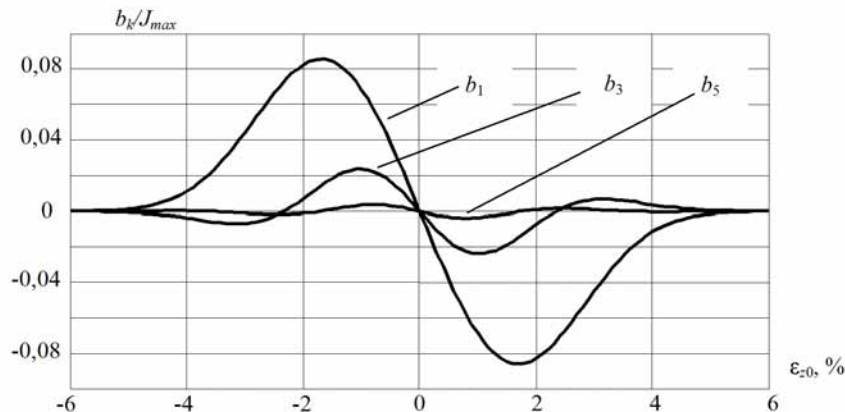


Рис. 6. Зависимости амплитуд синусоидальных составляющих от смещения пятна нагрева относительно заданной глубины проплавления: $\Delta = 0,1$ мм; $\varphi = 45^\circ$

Проведенные исследования позволяют предложить простой способ получения информации о глубине проплавления, заключающийся в частотной селекции сигнала датчика рентгеновского излучения, т. е. в выделении, например, составляющей с частотой ω и ее использовании для управления параметрами ЭЛС (током луча или его фокусом). Для управления глубиной проплавления целесообразно использовать составляющую с частотой, равной частоте поискового движения, так как ее амплитуда b_1 (наибольшая по сравнению с амплитудами b_2 и b_3) и фаза однозначно определяют положение пятна нагрева в канале проплавления.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– интенсивность рентгеновского излучения, возникающего при ЭЛС, несет информацию о глубине проплавления;

– контроль глубины проплавления при регистрации рентгеновского излучения со стороны ввода электронного луча основан на определении положения источника излучения в канале проплавления коллимированными рентгеновскими датчиками по максимуму интенсивности;

– введение поискового движения приводит к появлению в спектре рентгеновского излучения составляющих

с частотами, кратными частоте поискового движения, которые несут информацию о глубине проплавления. Так, амплитуда спектральной составляющей с частотой поискового движения пропорциональна смещению пятна нагрева относительно оси рентгеновского датчика. При этом характер изменения этой составляющей не зависит от параметров ЭЛС (тока луча, тока фокуса), т. е. если пятно нагрева (источник излучения) совпадает с осью коллимированного датчика, то амплитуда составляющей равна нулю. Изменение параметров ЭЛС влияет на крутизну амплитуды при смещении пятна нагрева относительно оси датчика, т. е. на коэффициент преобразования;

– математические модели коллимированного рентгеновского датчика могут быть использованы для разработки схемотехнических решений устройств управления глубиной проплавления при ЭЛС.

Библиографическая ссылка

1. Браверман, В. Я. Экспериментальные исследования рентгеновского излучения при электронно-лучевой сварке / В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев, А. Н. Успенский // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева : сб. науч. тр. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Вып. 6. Красноярск, 2005. С. 196–200.

V. Ya. Braverman, V. S. Belozertsev, T. G. Veisver

CONTROL OF MELTING DEPTH BY X-RAY RADIATION DURING ELECTRON-BEAM WELDING

The possibility of control of melting depth by X-RAY radiation during electron-beam welding is considered.

Keywords: electron beam welding, x-ray radiation, melting depth.

© Браверман В. Я., Белозерцев В. С., Вейсвер Т. Г., 2010

УДК 621.791

С. Л. Бусыгин, А. П. Рукоусев, С. К. Крушатица, А. И. Демченко, А. С. Рафальский

ПРИМЕНЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ*

Разработаны ресурсосберегающая технология и универсальная установка для изготовления электродов контактной сварки из утилизированных медных отходов.

Ключевые слова: контактная сварка, электроды для контактной сварки.

На сегодняшний день контактная сварка занимает второе место в мире по распространенности и применяется в машиностроении, автомобилестроении, авиационно-космической промышленности, строительстве и др. Элек-

троды контактной сварки являются основным инструментом, технически осуществляющим процесс образования сварной точки, и состоят из рабочей части L_1 , основной части L_2 , посадочной части L_3 и охлаждающего отвер-

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект № 62-КФ).

ствия 1 (рис. 1). Они непосредственно подводят к деталям сварочный ток и усилие сжатия и одновременно являются элементами вторичного контура, силовыми конструктивными элементами контактной машины и сменным технологическим инструментом. В результате работы торцы электродов испытывают высокую токовую нагрузку, высокие градиенты температур, циклические градиенты напряжений и упруго-пластические деформации сжатия, сдвига и изгиба. На рабочей поверхности также действуют силы трения качения и скольжения [1].

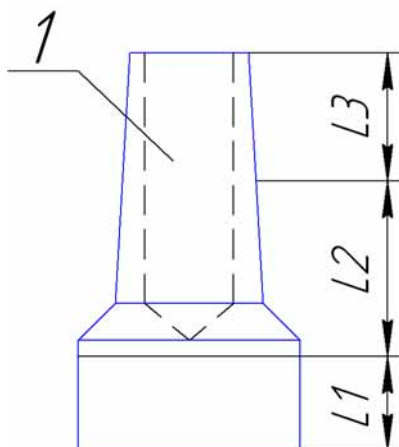


Рис. 1. Электрод для контактной сварки:
L1 – рабочая часть; L2 – основная часть;
L3 – посадочная часть; 1 – охлаждающее отверстие

На машиностроительных заводах, а также на заводах по изготовлению строительных изделий электроды для контактной сварки вытачивают из прутков, поступающих с металлургических заводов в термически необработанном состоянии. Однако такой способ изготовления электродов нерационален вследствие больших отходов металла, так как в стружку при этом идет до 40 % медных сплавов [2].

Кроме того, в процессе эксплуатации электрод изнашивается на расстояние L1, после чего его утилизируют, что также увеличивает процент металла, попадающего на переработку.

В Сибирском федеральном университете разработана ресурсосберегающая технология металлургической переработки меди и медных сплавов, а также спроектирована установка для штамповки электродов контактной сварки (рис. 2).

Установка работает следующим образом. На столе кривошипного пресса 1 смонтирована плита 8, перемещающаяся с помощью нижнего пневмоцилиндра 6. На плите установлен корпус 14 с матрицей 10 и клином 9, перемещающимся в корпусе 14 с помощью верхнего пневмоцилиндра 7. В молоте 5 закреплен пуансон 11, совершающий обратные-поступательные движения. Нижняя часть содержит охлаждающую камеру 12 для закалки электродов. Разогрев металла осуществляется в разливочном узле 2 индукционной печи, состоящей из блока согласования 3 и источника питания 4.

Технологический процесс включает в себя следующие операции:

- медные отходы засыпают в разливочный узел 2 индукционной печи, который разогревают на 300...350 °С выше температуры плавления меди;
- расплавленный металл легируют, добавляя 0,8...1,0 массового процента наночастиц хрома (размер частиц составляет 20...70 нм);
- для заливки расплавленного металла в матрицу 10 плиту 8 перемещают в крайнее правое положение;
- дно матрицы 10 закрывают клином 9, перемещая его в крайнее правое положение;
- расплавленный металл заливают в матрицу 10 из разливочного узла 2, поворачивая рукоять 13 влево;
- плиту 8 перемещают в крайнее левое положение для штамповки электрода;

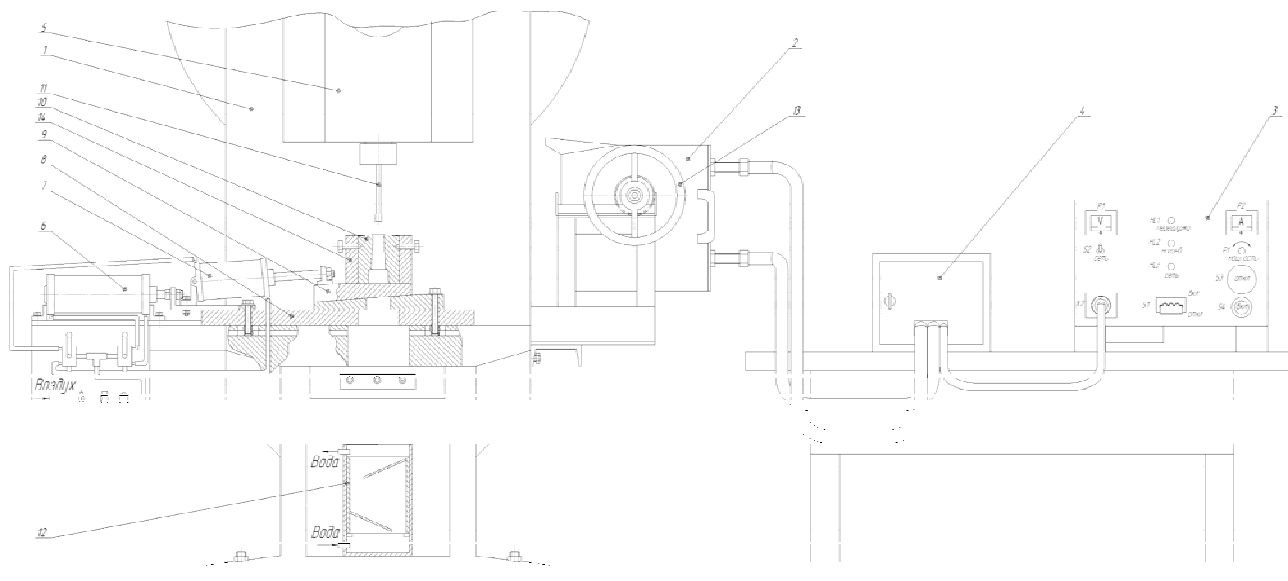


Рис. 2. Установка для штамповки электродов контактной сварки: 1 – кривошипный пресс; 2 – разливочный узел; 3 – блок согласования; 4 – источник питания; 5 – молот; 6 – нижний пневмоцилиндр; 7 – верхний пневмоцилиндр; 8 – плита; 9 – клин; 10 – матрица; 11 – пуансон; 12 – охлаждаемая камера; 13 – рукоять; 14 – корпус

– металл выдерживают в матрице 10 до температуры 850...900 °С и молотом 5 с закрепленным в нем пуансоном 11 штампуют электрод;

– клин 9 отводят в крайнее левое положение, тем самым открывая дно матрицы 10;

– повторную штамповку производят пуансоном 11;

– электрод через отверстие в плите 8 и отверстие в столе кривошипного пресса 1 падает в охлаждаемую камеру 12, где происходит его последующая термообработка.

Для производства следующего электрода цикл работы повторяют.

Испытания полученных электродов проводились при контактной сварке двух стержней из стали 35 ГС толщиной 10 + 40 мм в следующем режиме сварки: сила тока $I_{\text{св}} = 14\,000\text{ А}$, время сварки $t_{\text{св}} = 0,5 \dots 1,5\text{ с}$, усилие сжатия электродами $P_{\text{с}} = 250\text{ кг}$, длительность проковки $\Delta t_{\text{св}} = 1\text{ с}$. Испытания показывают, что при содержании 0,8 массового процента наночастиц хрома твердость электродов составляет 125 НВ, а прочность при рабочих нагрузках и температурах будет ниже допустимых значений. При содержании 0,9 массового процента наночастиц хрома твердость электродов повышается до 150 НВ, а прочность при рабочих нагрузках и температурах остается в пределах допустимых значений. При содержании 1,0 массового

процента наночастиц хрома твердость электродов составляет уже 170 НВ, но при этом наблюдается понижение прочностных свойств из-за склонности материала к хрупкому разрушению при рабочих нагрузках и высоких температурах (образуются трещины, выкрашивания и происходит потеря формы).

Таким образом, применение ресурсосберегающей технологии переработки меди и медных сплавов позволяет использовать различные медные отходы, повышая тем самым экологические и экономические показатели. По данной технологии можно изготавливать электроды для контактной сварки различных типоразмеров, варьируя в широком диапазоне химический состав электродов.

Библиографические ссылки

1. Повышение работоспособности электродов при точечной контактной сварке сталей / Г. А. Меньшиков, А. Н. Власенко, В. А. Невровский, В. А. Васин // Свароч. пр-во. 2008. № 10. С. 32–35.
2. Восстановление электродов рельефной сварки / А. П. Рукосуев, С. Л. Бусыгин, В. М. Чубинец, О. Ю. Антоненко // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. Машиностроение. 2005. № 40. С. 11–15.

S. L. Busigin, A. P. Rukosuev, S. K. Krushatina, A. I. Demchenko, A. S. Rafalsky

APPLICATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF COPPER AND COPPER ALLOYS METALLURGICAL RECYCLING FOR CONTACT WELDING ELECTRODES PRODUCTION

The article presents a developed Resource-saving technology and universal installation for manufacturing of electrodes for contact welding from the utilized copper wastes.

Keywords: contact welding, electrodes for contact welding.

© Бусыгин С. Л., Рукосуев А. П., Крушатина С. К., Демченко А. И., Рафальский А. С., 2010

В. А. Виноградов

МОДЕРНИЗАЦИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ХИМЗАВОДЕ – ФИЛИАЛЕ ОАО «КРАСМАШ»*

Химический завод – филиал ОАО «Красмаш» – на протяжении нескольких лет прилагает усилия по освоению конверсионной (гражданской) продукции. Начато производство тканой полипропиленовой продукции, литья из полиэтилена, выпускаются уплотнители разных типов. В 2007 г. принято решение об организации нефтехимического производства. Был подписан договор с НПО «Катализ» на проектирование установки по переработке нефти на новых принципах. ОАО «ВНИПИЭТ» разработан проект производства малотоннажной химии (ПМХ) со всей инфраструктурой: хранилищами нефти, мазута, дизельного топлива, бензина, наливными эстакадами и др.

Ключевые слова: катализатор, тепловые электронагреватели, печь, горелка, энергозатраты.

В 2007 г. Химическим заводом (Химзаводом) – филиалом ОАО «Красмаш» – был заключен договор с НПО «Катализ» на разработку установки по переработке нефти (рис. 1). Однако пусконаладочные работы показали явную несостоятельность данной установки: не были достигнуты проектные параметры по глубине переработки нефти, производительности (4 т вместо 6 т) и качеству светлых нефтепродуктов (см. таблицу). Рекомендации ОАО «Катализ» по внесению изменений и доработок в проект не дали положительных результатов.

Специалисты Химзавода были вынуждены углубленно изучить технологию нефтепереработки, посещая предприятия нефтеперерабатывающей отрасли, конференции и форумы различных уровней по вопросам нефтепереработки. В качестве консультантов были приглашены квалифицированные специалисты.

Перед Химзаводом стояла задача проведения необходимой модернизации установки с наименьшими затратами с обеспечением при этом требуемого уровня качества, надежности и производительности.

Катализатор, на который возлагались особые надежды, должен был значительно повысить октановое число бензина. Но на практике оказалось, что катализатор в ходе эксплуатации медленно разлагался и засорял технологические системы установки, а октановое число оставалось без изменения – не более 60.

После проведения предварительных расчетов и их согласования с новым проектантом установки ОАО «ВНИПИЭТ» было принято решение демонтировать из реактора катализатор и заменить его кольцами Рашига по классической схеме.

Впоследствии были проведены перерасчет возможностей теплообменников и их доработка. В результате усо-

вершенствования технологического цикла мазут и дизельное топливо стали соответствовать государственным стандартам по всем параметрам, а бензин первичной перегонки – требованиям технических условий, разработанных Химзаводом (см. таблицу).

Следующей задачей является повышение производительности. По проекту НПО «Катализ» планировалось перерабатывать 6 т нефти в час. После доработки установка стала производить максимум 4,5 т нефти в час.

Проектом НПО «Катализ» предусмотрена система нагрева реакторов и колонн с помощью тепловых электронагревателей (ТЭН). Достоинствами данной системы нагрева являются быстрота запуска установки и плавное регулирование температурного режима. Но недостатки оказались более существенными. Тепловые электронагреватели слишком чувствительны к поставляемой нефти невысокого качества, поэтому часть ТЭНов (7...10 %) постоянно выходила из строя. Заменить их можно было только после остановки и охлаждения установки. На это уходило почти сутки. Все это приводило к снижению производительности.

Немаловажное значение имеет и стоимость энергозатрат при работе установки. Известно, что затраты при нагреве электрическим током значительно выше, чем при нагреве сжиганием газа, мазута или угля. Поэтому Химзаводом совместно с ОАО «ВНИПИЭТ» было принято решение о дальнейшей модернизации установки, т. е. о разработке комбинированной системы нагрева с применением печи и горелки высокого качества, работающей на мазуте собственного производства (рис. 2). Электрообогрев же используется для первоначального запуска и тонкой регулировки температур.

Для реализации рассматриваемых разработок, покупки оборудования, проведения строительно-монтажных и

Показатели качества и объема переработки нефти

Технические характеристики	Установка на период пусконаладки по проекту НПО «Катализ»	Модернизированная установка по проекту ОАО «ВНИПИЭТ»
Производительность, т/ч	4	6
Выход нефтепродуктов, %:		
бензиновая фракция	24	40
дизельное топливо	29	27
мазут	45	31

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект № 25-КФ).

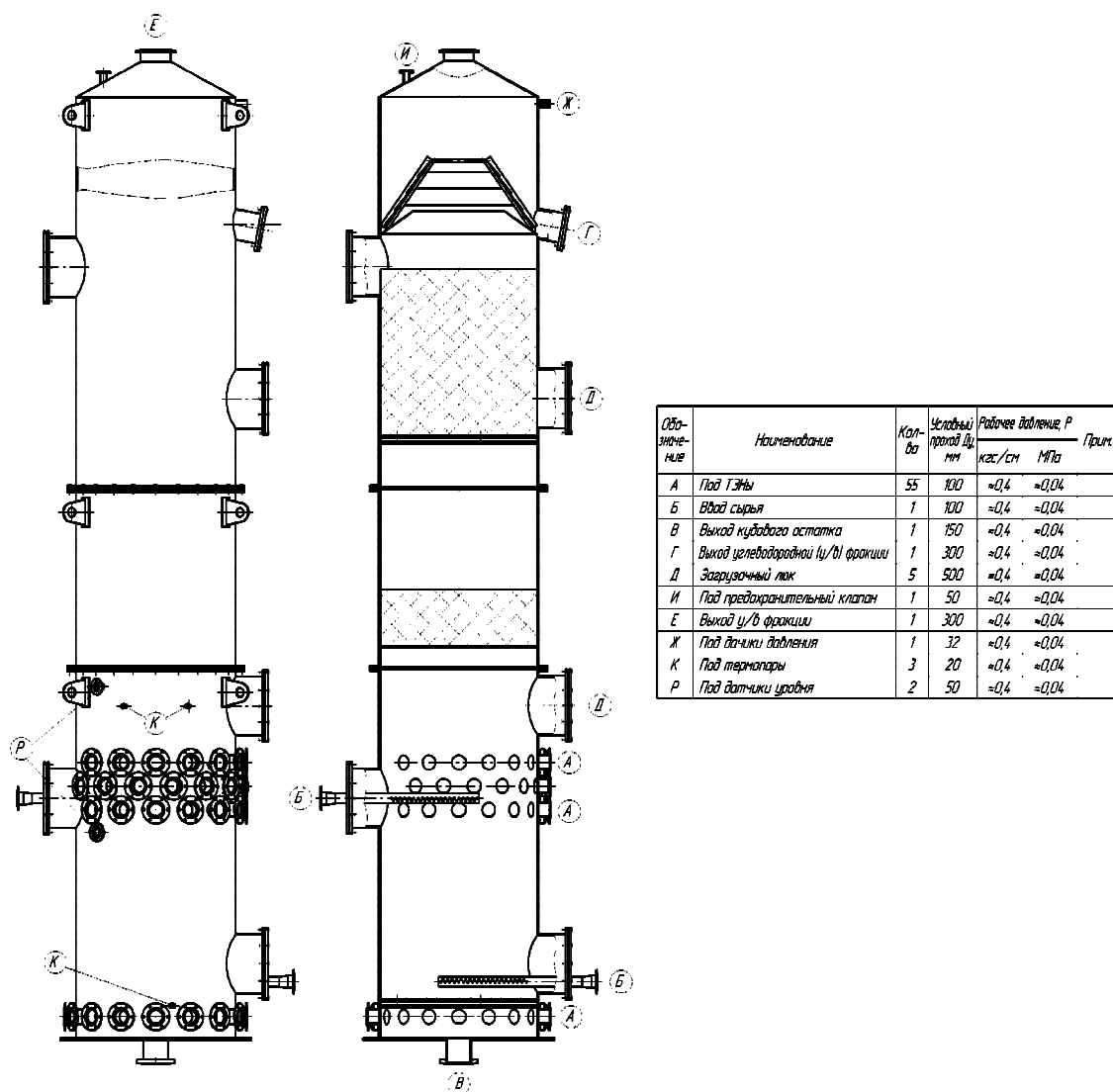


Рис. 1. Схема реактора

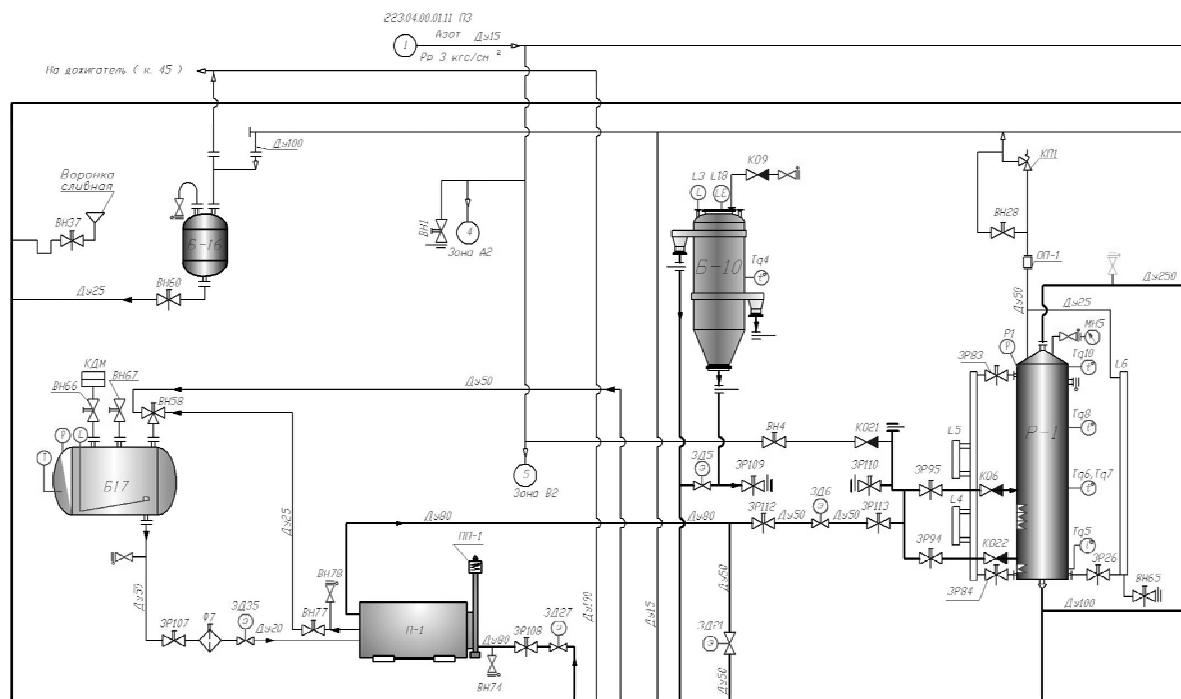


Рис. 2. Схема нагрева установки с применением печи

пусконаладочных работ Химзаводу понадобились значительные финансовые средства. Была подана заявка в КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» на участие в конкурсе научно-технических исследований, разработок, инновационных программ и проектов. По результатам конкурса проект вошел в программу фонда. Полученные средства были использованы на проектные и частично на строительные работы. В настоящее время мон-

тажные работы находятся в стадии завершения, в дальнейшем планируется пусконаладка и сдача комбинированной системы нагрева в эксплуатацию.

У специалистов Химзавода и ОАО «ВНИПИЭТ» нет сомнений, что установка сможет работать на полную мощность. На этом закончится первый этап запуска нефтехимического производства на Химзаводе – филиале ОАО «Красмаш». Впереди второй этап с другими, уже промышленными масштабами.

V. A. Vinogradov

MODERNISATION OF PETROCHEMICAL MANUFACTURE ON THE CHEMICAL PLANT – OPEN SOCIETY “KRASMASH” BRANCH

The chemical plant – branch of Open Society “Krasmath” throughout several years makes efforts to develop conversion (civil) production. Manufacture of woven polypropylene production is mastered; there is an output of different types of sealants. Manufacture of molding from polyethylene is mastered.

Decision to organize petrochemical manufacture was accepted in 2007. The contract with research-and-production association «Kataliz» to design the plant for oil refining according to new principles has been signed. Open Society ВНИПИЭТ has developed the project of small-volume chemistry production with all infrastructures: storages for oil, black oil, diesel fuel, gasoline, loading racks etc.

Keywords: the catalyst, thermal electric heating units, the furnace, a torch, power inputs.

© Виноградов В. А., 2010

УДК 662.73

В. Ф. Гаджиев, И. О. Михалев, С. Г. Степанов

УСТАНОВКА ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ – ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗЕРНОСУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ*

Рассмотрен инновационный подход к энергообеспечению зерносушильных установок с заменой дизельного топлива газом из дешевых местных углей, позволяющий значительно повысить эффективность работы зерносушильных установок в Красноярском крае. В основу подхода легла технология газификации угля «Термокок-СГ». Выполнено экспериментальное исследование процесса слоевой газификации угля марки ЗБ разреза «Большеусь-ский» (Красноярский край), на основе результатов которого разработана технологическая и конструкторская документация для типовой газогенераторной установки.

Ключевые слова: уголь, газификация, энергообеспечение, сушка, зерно.

Одной из важнейших характеристик зерна как товара является его способность к длительному хранению, определяемая прежде всего влажностью зерна, снижение которой до безопасных пределов обеспечивается сушкой.

Из-за сложных погодных условий в Красноярском крае в сушке нуждается около 80 % собираемого зерна. При среднем валовом сборе зерна в Красноярском крае в 2009 г. 2,4 млн т в год на сушку потребляется 25...30 тыс. т жидкого

топлива. При этом средняя стоимость реализации зерновых культур с 2000 по 2007 гг. у производителей возросла на 55...60 %, а средняя стоимость основных видов топлива – на 150...300 %. По экспертным оценкам, из общего количества энергоресурсов, затраченных на производство зерна, прямые затраты на сушку достигают 30 %, а доля энергозатрат в себестоимости сушки зерна составляет 75...80 %.

Удельный расход дизельного топлива для сушки зерна на наиболее распространенных типовых зерносушиль-

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (соглашение о порядке целевого финансирования № 27 от 6 мая 2010 г.).

ных установках СОБ-50, ДСП-50 составляет примерно 1,25 кг на тонно-процент (приведенный расход тепла – 1 280 ккал/кг испаренной влаги, КПД сушки – 47 %). В период уборочных работ необходимо обеспечить сушку в среднем от 14 до 24 % зерна. Таким образом, удельный расход дизтоплива на 1 т зерна составляет примерно 10 кг, или 150 руб./т при цене дизтоплива около 15 тыс. руб./т (с доставкой и скидкой 10 % на ГСМ для сельхозпроизводителей).

Традиционный метод экономии тепловой энергии за счет повышения КПД сушки с нынешних 45...50 % до теоретически возможных 65...70 % экономически неэффективен. Снижение издержек на сушку может быть достигнуто только при переводе зерносушильных установок на использование радикально более дешевых топлив.

Наиболее перспективным и дешевым видом топлива в Красноярском крае являются бурые угли Канско-Ачинского бассейна (КАБ), стоимость которых составляет в среднем 300...600 руб./т. Стоимость тонны условного топлива (ТУТ) в виде дизтоплива превосходит стоимость ТУТ в виде бурого угля КАБ с учетом доставки на большинство сельхозпредприятий Красноярского края более чем в 10 раз.

Возможны два варианта применения угля для сушки зерна.

Первый вариант – это прямое сжигание угля с использованием дымовых газов для нагрева теплоносителя (воздуха), применяемого для сушки зерна. При этом возникает ряд проблем. Во-первых, угольный предтопок должен располагаться в непосредственной близости от зерносушильной установки – в пределах эффективной транспортировки большого объема теплоносителя в сушилку (не далее 10...20 м). На это не всегда возможно из-за стесненной территории предприятия. Во-вторых, угольный предтопок обладает низкой маневренностью. Для вывода его из холодного состояния в рабочий режим требуется несколько часов, а нахождение в «горячем резерве» ведет к перерасходу угля. В-третьих, этот вариант достаточно затратен: оценки показывают, что инвестиции в перевод сушилки с дизтоплива на прямое сжигание угля составят около 13 млн руб., а срок окупаемости – не менее пяти с половиной сезонов.

Второй вариант – это газификация угля с использованием получаемого горючего газа для нагрева теплоносителя. Процесс газификации угля – это высокотемпературное (900...1 100 °С) превращение органической массы угля в газообразные вещества (CO , H_2 , CH_4 , CO_2 , H_2O , N_2) при взаимодействии с кислородом воздуха в условиях недостатка окислителя. Зерносушилка комплектуется газогенераторной установкой, которая может быть размещена в пределах эффективной транспортировки горючего газа к сушилке (до 200...300 м). Газификатор угля обладает высокой маневренностью: из холодного состояния в рабочий режим он выводится за 30 мин и может до 3 сут находиться в «горячем резерве» без подачи дутья, т. е. без потребления угля. Удельные капитальные затраты на установку тепловой мощностью 3,8 Гкал/ч составляют около 7 млн руб., т. е. газогенераторная установка более чем вдвое дешевле угольного предтопка такой же тепловой мощности, а срок ее окупаемости при аналогичных условиях составит два сезона.

Таким образом, оснащение зерносушилок газогенераторными установками с целью замещения дизтоплива горючим газом из угля является единственным приемлемым способом повышения энергоэффективности сушки зерна и снижения затрат на производство зерновой продукции.

Для разработки конструкторской документации типовой газогенераторной установки было выполнено экспериментальное исследование процесса газификации угля марки ЗБ разреза «Большеусьский» (Балахтинское месторождение КАБ) по инновационной технологии «Термококс-СГ». В основу этой технологии положен процесс газификации угля на воздушном дутье в режиме обратной тепловой волны, защищенный российскими и зарубежными патентами [1–4]. Суть эффекта обратной тепловой волны состоит в том, что в слое угля при определенных режимах подачи дутья фронт горения может смещаться не только в направлении потока газифицирующего агента (дутья), но и против потока [5]. В традиционных газификаторах и в слоевых топках фронт горения смещается в одном направлении с потоком газифицирующего агента. Зона пиролиза в этом случае расположена за зоной горения, поэтому продукты термического разложения угля (сажа, смолистые вещества, канцерогены, фенолы и другие токсичные вещества), загрязняют газ и поступают в атмосферу. Когда же фронт горения смещается навстречу дутью, то зона пиролиза находится перед зоной горения и продукты пиролиза разлагаются в высокотемпературной зоне термохимических превращений. Вследствие этого технология «Термококс-СГ» отличается высокой экологической безопасностью.

Экспериментальный газификатор представляет собой вертикальный реактор шахтного типа периодического действия со стационарным слоем дробленого угля, в котором зажигание слоя осуществляется сверху, а подача воздуха – снизу. При определенных условиях спустя некоторое время после зажигания в верхней части слоя формируется тепловая волна, которая затем перемещается навстречу дутью с примерно постоянной скоростью. Для измерения температуры слоя угля внутри засыпки равномерно размещены стационарные ХА-термомпары. Одновременно с помощью газоанализатора выполняется непрерывный анализ продуктового газа. Варьируемым параметром при проведении экспериментов является расход дутьевого воздуха, фракционный состав угля сохраняется постоянным.

Целью серии экспериментов являлось достижение максимума выхода горючего газа с наибольшей калорийностью. В результате обработки данных серии экспериментов по газификации угля в плотном слое был найден оптимальный режим работы газификатора при производстве горючего газа, определены соответствующие технологические параметры, материальный и тепловой балансы процесса, характеристики полученных продуктов (см. таблицу).

В результате исследований было установлено, что газ из большеусьского угля, имеющий калорийность 905 ккал/м³, может успешно использоваться в качестве топлива в процессах сушки зерна, стройматериалов и т. п., а также при обжиге кирпича, извести.

Полученные результаты явились основой для разработки технологической и конструкторской документации установки по газификации большесырского угля. Запуск первого образца инновационной газогенераторной установки, созданный по заказу ООО «Сибуголь» (Красноярск), состоялся 12 ноября 2010 г. в поселке Балахта.

Библиографические ссылки

1. Пат. 2287011 Российская Федерация, МПК С 10 J 3/68. Способ слоевой газификации угля / С. Р. Исламов, С. Г. Степанов, А. Б. Морозов. № 2005124137/04 ; заявл. 29.07.2005 ; опубл. 10.11.2006, Бюл. № 31.
2. Пат. 2299901 Российская Федерация, МПК С 10 В 47/04, С 10 В 53/08, С 10 J 3/20. Устройство для переработки

твердого топлива / С. Р. Исламов, С. Г. Степанов, А. Б. Морозов. № 2005123736/15 ; заявл. 27.07.2005 ; опубл. 27.05.2007, Бюл. № 15.

3. Евразийский пат. 007798. МПК С 10 В 49/10. Способ слоевой газификации угля / С. Р. Исламов, С. Г. Степанов, А. Б. Морозов (Рос. Федерация). № 200801920 ; заявл. 25.10.2005 ; опубл. 27.02.2007, Бюл. ЕАПО 1.

4. Евраз. пат. 008111, МПК С 10 В 47/04, С 10 В 53/08, С 10 J 3/20. Устройство для переработки твердого топлива / С. Р. Исламов, С. Г. Степанов, А. Б. Морозов (Рос. Федерация). № 200501921 ; заявл. 25.10.2005 ; опубл. 27.04.2007, Бюл. ЕАПО 2.

5. Исламов С. Р. Энерготехнологическая переработка угля. Красноярск : Поликор, 2010.

Результаты экспериментов по газификации угля в плотном слое

Параметр	Значение
Выход коксозольного остатка, % от массы угля	12,0
Удельный выход влажного газа на тонну угля, $\text{нм}^3/\text{т}$	3 398
Состав газа, %:	
CO	16,0
H ₂	14,8
CO ₂	8,5
CH ₄	0,5
N ₂	55,1
H ₂ O	5,1
Удельная теплота сгорания газа без осушения, ккал/ нм^3	905
Температура газа на выходе из газификатора, °C	600
Расход воздуха на сжигание 1 нм^3 влажного газа, нм^3 (коэф. изб. возд. $\alpha = 1$)	0,940

V. F. Gadjiev, I. O. Mikhalev, S. G. Stepanov

COAL GASIFICATION UNIT – INNOVATIVE SOLUTION FOR ENERGY SUPPLY OF GRAIN DRYERS IN KRASNOYARSK REGION

Innovative approach to energy-supply of grain dryers is developed. The approach assumes substitution of diesel fuel with gas generated from cheap local coals and allows to increase operating efficiency of grain dryers at Krasnoyarsk region. The approach is based on "Termokoks-SG" coal gasification technology. Experimental research of fixed-bed coal gasification process for "Bolshesyrskiy" brown coal of Krasnoyarsk region was carried out. Based on results of the research, design and structural documentation for a typical coal gasification unit was developed.

Keywords: coal, gasification, energy-supply, drying, grain.

В. А. Дубровский, Ю. В. Исаков, М. Ю. Потылицын, И. И. Потапов, В. Н. Широков

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КАВИТАЦИОННОГО ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ*

Рассмотрена эффективность получения кавитационного водоугольного топлива с использованием электрогидравлических эффектов. Проанализированы результаты проведенных исследований по получению кавитационного водоугольного топлива.

Ключевые слова: кавитационное водоугольное топливо, электрогидравлический эффект, исследование.

В ближайшей перспективе прогнозируется повышение роли угля в топливно-энергетическом балансе страны, что обусловлено его крупными запасами. Однако экологические ограничения (особенно после ратификации Киотского протокола) требуют разработки и внедрения новых экологически чистых угольных технологий, обеспечивающих наиболее полное использование топлива при максимально сниженной вредной нагрузке на окружающую среду.

Особенно остро экологические проблемы стоят в угольных регионах России, где вокруг угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий в гидроотвалах и отстойниках скапливается большое количество добываемого угля, представленного в виде тонкодисперсных угольных шламов. Гидроотвалы и отстойники периодически чистятся механогидравлическим способом, и повторно добытые угольные шламы сбрасываются либо в отработанные выработки шахт, либо в ближайшие овраги и водоемы. В отдельных случаях производится обезвреживание отходов флотации и их складирование на свободных площадях.

Применение суспензионного угольного топлива является реальной возможностью замены не только «грязного» угля и малоэффективных методов его сжигания в слоевых топках, но и дефицитных жидких и газообразных видов топлива.

Перевод шламов в транспортабельное и технологически удобное суспензионное водоугольное топливо (ВУТ) позволит добиться существенного экономического эффекта и резко улучшить экологическую обстановку. При этом получаемое топливо и технологии его использования должны отвечать жестким требованиям современного рынка, связанным с обеспечением высокой экономической конкурентоспособности и минимизацией возможного опасного экологического воздействия на окружающую среду.

Учитывая, что в себестоимости вырабатываемой тепловой энергии стоимость топливной составляющей занимает от 40 до 70 %, снижение стоимости топлива или его удельного расхода является важным фактором получения экономического эффекта.

Существующие механические методы, используемые в шаровых мельницах, кавитаторах и др., характеризуются повышенными энергетическими затратами и износом рабочих узлов машин.

Разрушающее воздействие на угольное сырье может создаваться и с помощью последовательности контролируемых маломощных взрывов в жидкой среде, при которых происходит измельчение, перемешивание сырья и активация воды. Применение высоковольтных разрядов достаточно хорошо изучено и используется в технологиях дробления минеральных веществ в конденсированных средах [1], обогащения угольного сырья и т. д. Однако законченных исследований об эффективности измельчения сырья для приготовления ВУТ методом проведения высоковольтных электрогидравлических взрывов практически нет. Предполагается, что при высоковольтных разрядах в конденсированных средах (жидкости) формируется широкий спектр электрогидравлических эффектов (ЭГЭ), которые могут быть использованы для измельчения угольного сырья. Специально сформированные в воде импульсные разряды могут образовывать зоны сверхвысокого гидравлического давления и способны совершать механическую работу по разрушению угля.

Установка по дроблению угольного сырья с использованием ЭГЭ (рис. 1) состоит из источника высоковольтных силовых импульсов с подключенным к рабочему разряднику выходом и активной зоны измельчения. Потенциальный электрод рабочего разрядника размещен в активной зоне и создает высоковольтный разряд вблизи решетки сепаратора, которая является вторым электродом и разделяет фракции угля после формирования серии ударов. Силовая высоковольтная установка включает в себя повышающий трансформатор Тр, высоковольтный выпрямитель V, накопитель энергии – импульсный конденсатор С, формирующий промежуток – ФП-разрядник.

При работе установки происходит заряд накопителя и после срабатывания формирующего разрядника энергия подается на электрод рабочего разрядника для формирования высоковольтного разряда в жидкости. Создаваемые ударные воздействия в жидкости измельчают угольное сырье, приводя к образованию водоугольной

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект «Разработка и внедрение энергоэффективной эколого-ресурсосберегающей технологии подготовки и сжигания углей Канско-Ачинского бассейна на энергетических предприятиях для обеспечения конкурентных преимуществ экономики Красноярского края»).

суспензии. Получаемые мелкие фракции проникают через решетку сепаратора, а крупные фракции подвергаются последующим ударным воздействиям.

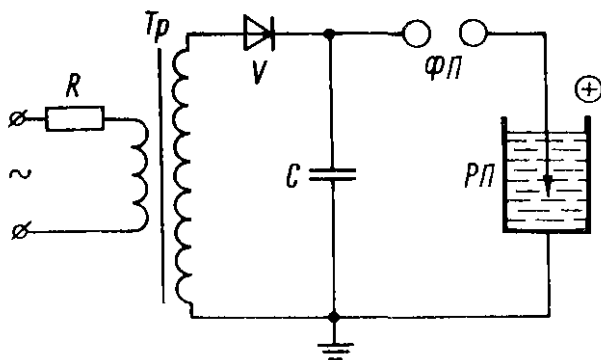


Рис. 1. Функциональная схема дробления угольного сырья с использованием ЭГЭ: R – зарядное сопротивление; Tr – повышающий трансформатор; V – высоковольтный выпрямитель; C – накопитель энергии; ФП – формирующий промежуток (формирующий разрядник); РП – рабочий промежуток в жидкости

Конструкции типовых электрогидравлических дробилок отличаются размещением рабочих электродов (рис. 2), но принцип работы у них одинаков. Угольное сырье загружается из входного бункера 1 и совместно с подводимой технической водой 2 подается в активную зону для измельчения. Высоковольтные электроды 3 размещены в замкнутом объеме и создают разряды в жидкости с возникновением ударных воздействий. После измельчения сырья суспензия через решетки сепарации 5 поступает на выход 4 для дальнейшего использования.

Исследование эффективности процесса получения водоугольной смеси было проведено на макетном образце [2], представленном на рис. 3.

Проверка возможностей ЭГЭ-дробления осуществлялась на небольших объемах угольного сырья с использованием высоковольтного силового импульсного генератора универсального назначения. Генератор формировал серию одиночных силовых высоковольтных импульсов U амплитудой 12...18 кВ и энергией 3...5 кДж. В качестве накопителей использовались импульсные конденсаторы типа ИК-12-25 общей емкостью C , равной 24...48 мкФ. В рабочую активную зону дробления силовые импульсы подавались посредством коаксиального кабеля РК50-17-17 длиной более 10 м, который обеспечивал необходимую электрическую прочность и пространственное размещение составных частей установки. Активная зона дробления угля представлена цилиндрическим объемом 50 дм³, заполненным водой. Рабочий разрядник в виде разделанного конца коаксиального кабеля имел зазор 24...25 мм. После формирования серии от 10 до 40 разрядов проводилась классификация фракций путем рассеивания образовавшегося продукта. Анализ результатов позволил оценить эффективность метода измельчения угольного сырья, возможности его промышленной реализации и определить основные технические требования к опытному образцу установки. Характерис-

тика контрольных образцов, параметры ударных воздействий и их результаты приведены в таблице.

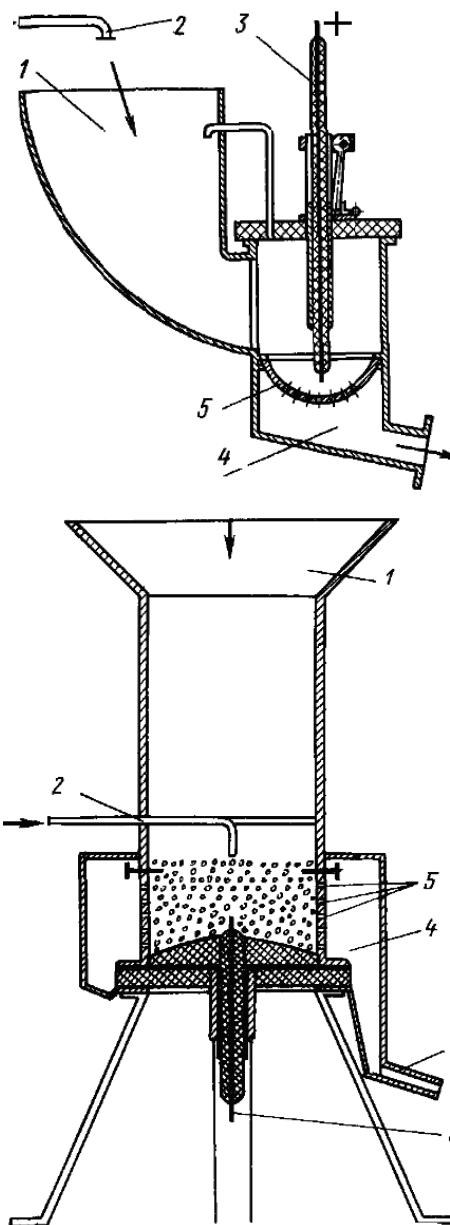


Рис. 2. Основные виды электрогидравлических дробилок (обозначения см. в тексте)

Результаты классификации по размерам свидетельствуют об энергетических затратах при изменении фракционного состава угольного сырья (рис. 4).

Повышение эффективности дробления связано с увеличением амплитуды ударных воздействий гидравлического и гидродинамического происхождения в жидкости при электрических разрядах определенной длительности и максимальных крутыми фронтами высоковольтных силовых импульсов. Анализ возможных схем размещения рабочих разрядников в активной зоне измельчения сырья показывает, что повышенной живучестью к ударным воздействиям обладает вариант с вертикальной установкой электрода.

В ходе проведенных исследований по измельчению угольного сырья малых объемов были выявлены следующие особенности применения ЭГЭ:

– ударные разрушительные воздействия характеризуются выраженным локальным характером. Эффективное измельчение сырья наблюдается в объеме 3...5 дм³ активной зоны формирования электрического разряда. Эффек-

тивность механизма дробления сырья зависит от режима высоковольтных разрядов. Для крупных фракций угля (от 50 до 150 мм) оптимален режим мягкого разряда ($U = 20$ кВ, $C = 1,0$ мкФ), а для мелких фракций – режим жесткого

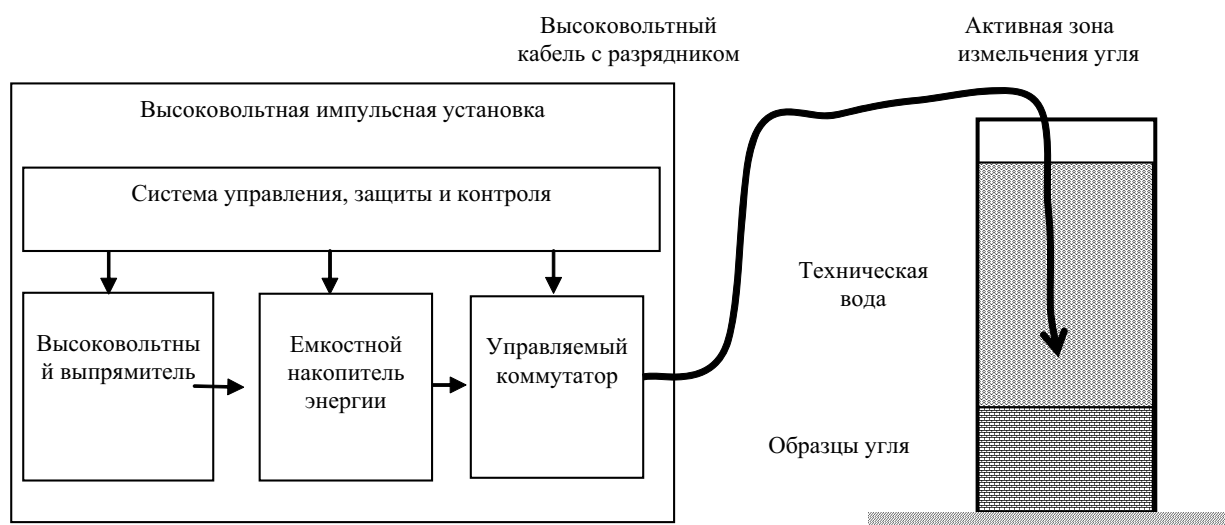


Рис. 3. Макет дробилки для получения водоугольной суспензии

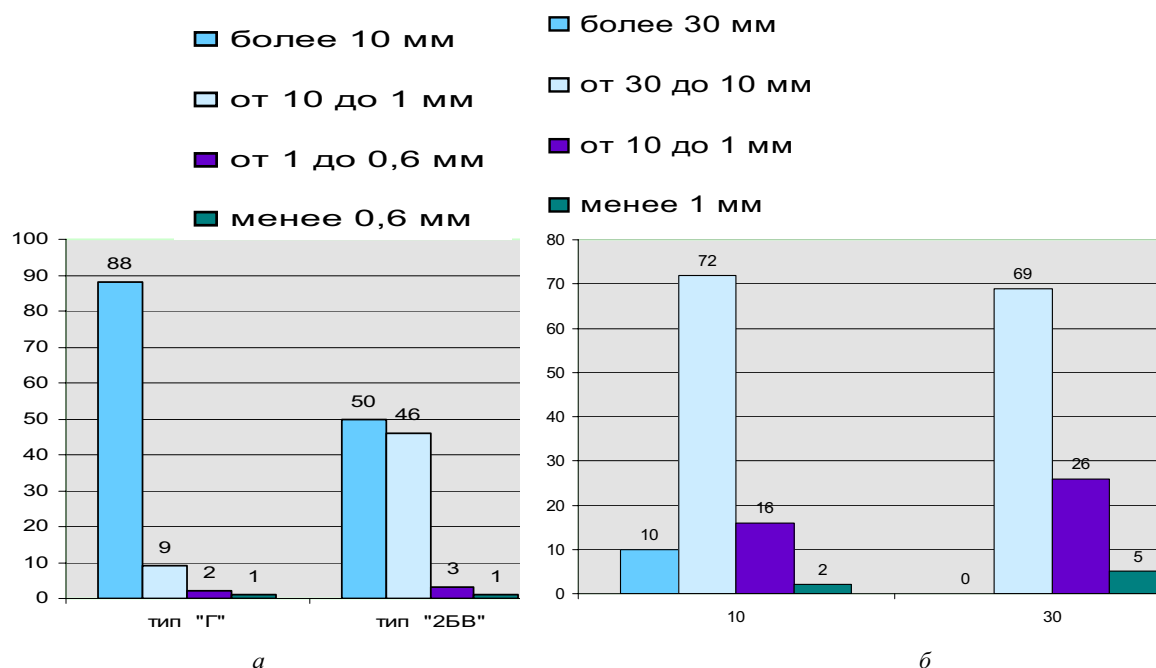


Рис. 4. Процентный состав водоугольной суспензии после последовательностей ударных воздействий для угольного сырья различных типов: а – сравнение угля типов Г и 2БВ при серии из 20 разрядов; б – сравнение угля типа 2БВ при серии из 10 и 30 разрядов

Данные, полученные при исследовании дробления угольного сырья

Марка угля (вес)	Внешний вид угля до и после обработки	Характеристики ударов (напряжение и емкость накопителя энергии)	Примечание
Г (3,0 кг)		5 ударов – 15 кВ/48 мкФ (5,4 кДж, 9,8 Вт·ч); 5 ударов – 15 кВ/24 мкФ (2,7 кДж, 4,9 Вт·ч)	Средний размер фракций 50 × 20 мм; энергозатраты ~15 кВт · ч · т
2БВ (3,0 кг)		10 ударов – 15 кВ/24 мкФ (2,7 кДж, 4,9 Вт·ч) 10 ударов – 15 кВ/24 мкФ (2,7 кДж, 4,9 Вт·ч)	Средний размер фракций 30 × 20 мм энергозатраты ~13 кВт · ч · т

разряда ($U = 50$ кВ, $C = 0,1$ мкФ). По мере измельчения сырья физические свойства суспензии меняются, что требует повышения амплитуды импульсов. Данная особенность определяет необходимость реализации последовательной технологии измельчения с использованием индивидуальных параметров формируемых силовых высоковольтных импульсов;

– существующая элементная база силовых высоковольтных импульсных генераторов характеризуется ограниченным ресурсом по количеству формируемых силовых импульсов. В частности, ограниченным ресурсом обладают высоковольтные накопительные емкости (до $1 \cdot 10^6$ разрядов) и коммутирующие разрядники (от $1 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^6$ разрядов). Заявленный ресурс генератора позволяет выполнить дробление примерно 30...50 т угольного сырья, что для крупномасштабного производства ВУТ не достаточно. Так, производительность одной угольной дробилки при использовании универсального высоковольтного генератора типа «Зевс-42» (с потребляемой от электрической сети мощности 4 кВт) составляет 150...200 кг/ч. Расход электрической энергии при реализации измельчения угольного сырья с помощью ЭГЭ прогнозируется от 15 до 20 кВт·ч на 1 т. Повышение производительности и суммарных энергетических характеристик импульсных генераторов возможно путем увеличения числа активных зон (дробилок). Для измельчения соответствующих фракций целесообразно использовать индивидуальные режимы. Рабочий разрядник должен подключаться к отдельному разрядному накопителю и формирующему промежутку. Повышение ресурса комплектующих силовой установки возможно путем применения мало нагруженных режимов и резервирования основных узлов;

– конструкция активной зоны измельчения находится под ударными воздействиями. Основные механические нагрузки испытывают электроды рабочего разрядника и элементы его крепления. Повышение ударной прочности конструкции и обеспечение постоянства разрядного промежутка увеличивает сроки эксплуатации рабочих разрядников. Для электрической изоляции электродов предлагается применять композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с молекулярной массой более $1,5 \cdot 10^6$ г·моль⁻¹, который обладает повышенной жесткостью, ударной прочностью и сопротивлением к абразивному изнашиванию.

Таким образом, определены возможности применения ЭГЭ для измельчения угольного сырья при получении водоугольной суспензии. Предварительные результаты свидетельствуют об эффективности данной технологии при использовании индивидуальных параметров силовых импульсов для каждого рабочего разрядника. В ходе исследований разработаны общетехнические и специальные требования к опытному образцу оборудования.

Библиографические ссылки

1. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986.
2. Подготовка технических решений и разработка схем для внедрения водоугольного сжигания топлива без использования размола угля : отчет о НИР (итоговый) / Сиб. федер. ун-т ; рук. Дубровский В. А. Красноярск, 2009.

V. A. Dubrovsky, Yu. V. Isakov, M. Yu. Potilicyn, I. I. Potapov, V. N. Shirokov

RESEARCH OF EFFICIENCY OF ELECTROHYDRAULIC EFFECTS AT RECEPTION CAVITATION WATER-COAL OF FUEL FOR BOILER INSTALLATIONS OF KRASNOYARSK REGION

The efficiency of reception cavitation water-coal of fuel with use of electrohydraulic effects is considered. The results of the carried out researches are analysed at reception cavitation water-coal of fuel.

Keywords: cavitation water-coal of fuel, electrohydraulic effect, research.

© Дубровский В. А., Исаков Ю. В., Потылицын М. Ю., Потапов И. И., Широков В. Н., 2010

В. А. Дубровский, Н. В. Третьяк, М. Ю. Потылицын, М. В. Зубова

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ЭКОЛОГО-РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ И СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ КАНСКО-АЧИНСКОГО БАССЕЙНА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ ЭКОНОМИКИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ*

Разработана технология термической подготовки углей для организации растопки котлов с минимальным расходом мазута. Оценка коммерческой эффективности инновационных проектов с использованием разработанной технологии свидетельствует о ее высокой инвестиционной привлекательности.

Ключевые слова: уголь, энергосбережение, технология сжигания.

Ежегодно на пылеугольных тепловых электростанциях (ТЭС) России для растопки котлов, подсветки факела и стабилизации выхода жидкого шлака расходуется более 5 млн т мазута, цена которого в настоящее время непрерывно растет и составляет сейчас около 10 тыс. руб. за тонну.

В связи с этим становится очевидной актуальность замены мазута при растопке и подсветке факела топочных камер котельных агрегатов ТЭС дешевыми углями Канско-Ачинского бассейна, стоимость которых более чем на порядок ниже стоимости жидкого топлива – мазута [1].

В Политехническом институте Сибирского федерального университета на кафедре «Тепловые электрические станции» выполнен комплекс исследований и установлены закономерности влияния окислительного выветривания на состав и физико-химические свойства органической и минеральной частей бурых канско-ачинских углей по высоте и глубине залегания угольного пласта. Была создана база экспериментальных данных по теплофизическим характеристикам углей Канско-Ачинского бассейна различной степени окисленности, учет которых позволяет обеспечить высокоэкономичную, экологически безопасную и надежную по условиям шлакования работу котельных агрегатов тепловых электростанций.

Разработана и защищена 35 патентами технология сжигания углей с применением термической подготовки в условиях тепловой электростанции для организации сжигания углей с применением безмазутной (муфельной) растопки и подсветки факела топочных камер котельных агрегатов.

Данная технология предназначена для котлов, сжигающих бурые и каменные угли с высоким выходом летучих веществ. Это позволяет значительно повысить эколого-экономическую эффективность сжигания углей, практически отказаться от применения дорогостоящего мазута при растопке и подсветке факела топочных камер котельных агрегатов тепловых электрических станций в энергетических системах и комплексах.

Авторами разработан и в 2001 г. впервые внедрен проект по переводу котла Е-420 Красноярской ТЭЦ-2 на безмазутную растопку с применением специальных горелочных устройств. Опыт эксплуатации этой опытно-промышленной системы показал ее высокую эффективность не только при растопке, но и при подсветке факела.

В 2005–2006 гг. разработана система термической подготовки углей для организации безмазутной растопки, внедренная на котле ПК-40-1 ст. № 12 энергетического блока мощностью 200 МВт Томь-Усинской ГРЭС.

В 2008 г. система термической подготовки внедрена пятом энергоблоке на Беловской ГРЭС ОАО «Кузбассэнерго». Впервые в России растопочные горелки на котлах этой электростанции были установлены вместо рабочих горелок [2].

Растопочные горелки (рис. 1) обладают целым рядом преимуществ:

- они используются в качестве как растопочных, так и основных горелок с одновременным снижением оксидов азота;
- снижают эксплуатационные затраты;
- повышают надежность работы растопочных муфельных горелок за счет постоянного охлаждения корпуса муфеля потоком вторичного воздуха;
- не требуют разводки топочных экранов.

Тем не менее рассматриваемая технология муфельной растопки по-прежнему предусматривает наличие мазутного хозяйства на ТЭС. Поэтому была поставлена задача разработать горелочное устройство, которое полностью исключает применение мазута. В связи с этим предложено принципиально новое конструктивное решение, не требующее использования мазута.

Для решения поставленной задачи был применен электронагрев [3]. В предлагаемой конструкции горелочного устройства (рис. 2) электронагреватели размещаются между циркуляционной трубой и обечайкой, обдуваемой вторичным воздухом, что позволяет разогревать рабочую поверхность до рабочей температуры 500...700 °С, в свою очередь

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект «Разработка и внедрение энергоэффективной эколого-ресурсосберегающей технологии подготовки и сжигания углей Канско-Ачинского бассейна на энергетических предприятиях для обеспечения конкурентных преимуществ экономики Красноярского края»).

вторичный воздух, обдувая обечайку, снижает ее температуру и повышает надежность работы электронагревателей.

При растопке котла пыль высокой концентрации поступает на заранее прогретую рабочую поверхность горелки при малых значениях коэффициента избытка воз-

духа, из которой и происходит процесс термической подготовки угля с частичной газификацией угольного потока. Далее термически обработанная смесь подхватывается потоком вторичного воздуха и, воспламеняясь, поступает в объем топki котла.

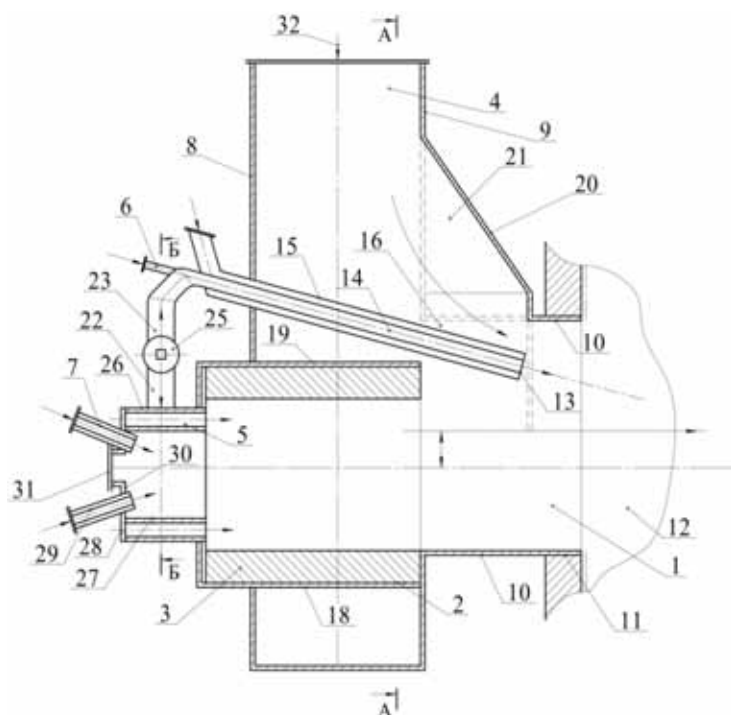


Рис. 1. Принципиальная схема универсального горелочного устройства: 1 – растопочная горелка; 2 – циркуляционная труба; 3 – муфель; 4 – воздушный короб; 5 – кольцевое сопло подачи пыли высокой концентрации (ПВК); 6 – сопло горячего воздуха; 7 – растопочная мазутная форсунка; 8, 9 – стенки воздушного короба 4; 10 – горелочный насадок; 11 – амбразура; 12 – топка котла; 13 – дополнительная горелка; 14, 15 – коаксиальные сопла подачи ПВК и горячего воздуха; 16 – зазор; 17 – кожух муфеля 3; 18, 19 – нижний и верхний полуцилиндры кожуха 17; 20 – откос; 21 – боковины; 22, 23 – пылепроводы; 24 – источник ПВК; 25 – трехходовой кран; 26, 27 – патрубки; 28, 30 – кольцевые крышки; 29 – запальник; 31 – гляделка; 32 – вторичный воздух

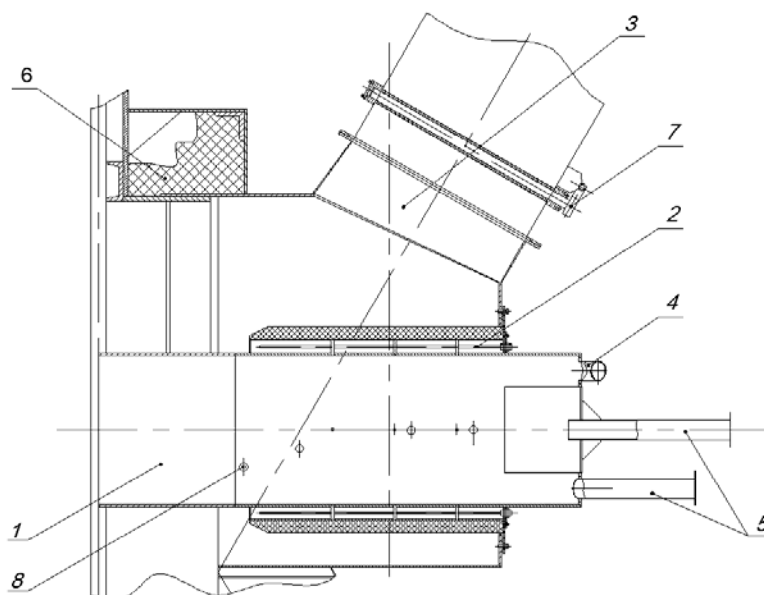


Рис. 2. Принципиальная схема универсального горелочного устройства с электронагревом: 1 – циркуляционная труба; 2 – блок трубчатых электронагревателей; 3 – устройство подвода вторичного воздуха; 4 – устройство подвода ПВК; 5 – ввод первичного воздуха; 6 – амбразура выхода пламени в топку; 7 – шибер регулирования подачи вторичного воздуха; 8 – термопары

Горелочное устройство обладает функциями, аналогичными функциям муфельных предтопков, но можно выделить ряд преимуществ, присущих именно этой конструкции:

– полный отказ от использования мазута при растопке и подсветке факела топочных камер котельных агрегатов ТЭС;

– быстрый запуск за счет небольшого времени разогрева рабочей поверхности горелки.

Таким образом, предлагаемые в данной статье универсальные горелочные устройства существенно улучшают процесс подготовки и сжигания угля на ТЭС, снижают вредные выбросы оксидов азота, просты и надежны в эксплуатации.

В настоящее время Политехнический институт СФУ продолжает работы по внедрению автоматизированной системы термической подготовки каменных и бурых углей с большим выходом летучих веществ для безмазутной растопки и подсветки факела на котлах Красноярской ТЭЦ-2 и Беловской ГРЭС.

Анализ результатов технико-экономических расчетов, выполненных для различных тепловых электростанций, показал, что при небольших первоначальных инвестициях в данную технологию могут быть достигнуты следующие

показатели: индекс доходности больше единицы, срок окупаемости – менее трех лет, что свидетельствует о высокой инвестиционной привлекательности разработанной технологии сжигания углей [4].

Библиографические ссылки

1. Дубровский В. А. Повышение эффективности энергетического использования углей Канско-Ачинского бассейна : монография / Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 2004.

2. Пат. на полез. модель 95796 Российская Федерация, МПК F 23 D 1/00. Горелочное устройство / В. А. Дубровский, М. В. Зубова, М. Ю. Потылицын и др. № 2010106690/22 ; заявл. 24.02.2010 ; опубл. 10.07.2010.

3. Пат. на полез. модель 95072 Российская Федерация, МПК F 23 D 1/06. Горелочное устройство / В. А. Дубровский, М. В. Зубова, М. Ю. Потылицын и др. № 2010106674/22 ; заявл. 24.02.2010 ; опубл. 10.06.2010.

4. Дубровский В. А., Зубова М. В. Термическая подготовка в условиях ТЭС как способ повышения эффективности энергетического использования углей // Горение твердого топлива : сб. докл. 7-й Всерос. конф. Ч. 2. Новосибирск, 2009. С. 44–50.

V. A. Dubrovsky, N. V. Tretyak, M. Yu. Potylicyn, M. V. Zubova

DEVELOPMENT AND ADOPTION OF ENERGY-SAVING ECOLOGY-AND-RESOURCE CONSERVING TECHNOLOGY FOR PREOPERATION AND COMBUSTING OF COALS OF KANSK–ACHINSK COAL BASIN AT POWER PRODUCING ENTERPRISES IN ORDER TO PROVIDE FOR COMPETITIVE ADVANTAGES OF ECONOMY OF KRASNOYARSK REGION

The article deals with coal thermal preoperation for boiler firing with minimal expenditure of mazout. Estimation of innovation projects commercial effectiveness which is made with the use of the developed technology proves its high investment attractiveness.

Keywords: coal, energy-saving, burning technology.

© Дубровский В. А., Третьяк Н. В., Потылицын М. Ю., Зубова М. В., 2010

Л. С. Малько, А. В. Сутягин, И. В. Трифанов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА, ИНТЕГРИРОВАННОГО С ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫМ СТАНКОМ, ДЛЯ РОТАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ НАРУЖНОЙ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ*

Показаны конструкторско-технологические особенности устройства для ротационного точения винтовых поверхностей многолезвийным инструментом.

Ключевые слова: ротационное точение, кинематическая схема, винтовая поверхность, шпиндельная головка, механизм круговой подачи.

Способ обработки наружных винтовых поверхностей деталей машин многолезвийным инструментом, в процессе работы которого имеет место качение без скольжения его центроида в форме окружности по центроиде детали в форме прямой линии, имеет ряд преимуществ перед обработкой радиальными фасонными резцами как по производительности процесса, так и по обеспечению качества обработанной поверхности [1; 2]. Однако данный способ обработки винтовых поверхностей деталей в настоящее время, несмотря на его существенные потенциальные преимущества, не нашел широкого применения в металлообработке. Одной из причин такого состояния является отсутствие оборудования, способствующего его использованию в производстве независимо от серийности.

На практике рассматриваемый способ применяется только в условиях крупносерийного производства при нарезании червяков и червячных фрез с модулем до 6 мм на выпускаемом для этих целей специальном станке модели ЕЗ-10А, обеспечивающем нарезание винтовой поверхности на деталях с наибольшей длиной 300 мм с пределами подач суппорта на оборот изделия 0,047...0,159 мм [3]. В основе кинематической структуры данного станка лежит дифференциальная схема.

Также известны конструкции устройств к токарно-винторезным станкам [4; 5], позволяющие вести обработку винтовой поверхности на деталях многолезвийным инструментом указанным выше способом. Однако такие устройства имеют ряд недостатков, из-за которых они не нашли промышленного применения.

Недостатком устройства [4] являются значительные материальные и трудовые затраты на его перенастройку, связанные с необходимостью изготовления нового ходового архимедова винта и червячной шестерни к нему с их последующим монтажом и демонтажом при изменении параметров обрабатываемой винтовой поверхности.

Для устройства [5] необходимо в разовом порядке изготавливать дополнительный ходовой архимедов винт и червячное колесо. Максимальная допустимая продольная подача на этом устройстве составляет 0,4 мм/об.

Кроме того, конструкции данных устройств невозможно интегрировать с токарно-винторезными станками мо-

делей 1М65, 1А660, 1А670, КЖ1Б137Ф2, т. е. они не имеют универсального характера.

Таким образом, для обеспечения широкого внедрения в производство технологии ротационного точения наружной винтовой поверхности деталей машин многолезвийным инструментом, в процессе работы которого имеет место качение без скольжения его центроида в форме окружности по центроиде детали в форме прямой линии, наряду с созданием сугубо специальных станков необходимо осуществлять разработку универсальных устройств для ротационного точения, интегрированных с токарно-винторезными станками [6; 7].

Рассмотрим далее вопросы совершенствования этих устройств.

Анализ конструкций известных устройств, интегрированных с токарно-винторезными станками, позволяет сформулировать следующие основные требования к ним, выполнение которых обеспечит их универсальность и снижение затрат на изготовление:

- конструкция устройства должна исключать необходимость установки дополнительного ходового винта;
- конструкция должна быть универсальной для интегрирования ее со всеми типоразмерами токарно-винторезных станков;
- кинематическая структура токарно-винторезного станка после интегрирования с ним устройства должна быть бездифференциальной. Это позволит сделать кинематическую цепь с более высокой крутильной жесткостью, что обеспечит большую кинематическую точность [3];
- для удобства изготовления и монтажа устройства на токарно-винторезном станке оно должно иметь в своем составе не более трех-четырех сборочных узлов, например шпиндельную головку, узел для передачи движения пересекающимися валами, механизм круговой подачи;
- в качестве присоединительных поверхностей для монтажа сборочных узлов следует использовать поверхности, не требующие дополнительной механической обработки по плоскости: заднюю стенку передней бабки станка, поверхность установки верхней крышки коробки подач, часть поверхности типа «ласточкин хвост» на продольных салазках станка, поверхность установки резцедержателя на поперечных салазках станка;

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (грант № 20 от 26 мая 2010 г.).

– конструкция шпиндельной головки должна обеспечивать возможность перемещения шпиндельного узла с закрепленным на нем инструментом вдоль оси Z . Для выполнения этого условия шпиндель монтируется в гильзе, которая должна направляться цилиндрическим отверстием корпуса и закрепляться в требуемом положении.

С целью проверки возможности выполнения сформулированных выше требований к конструкции рассматриваемого устройства, обеспечивающих его универсальность, а также изучения технологических возможностей ротационного точения наружной винтовой поверхности деталей машин на установке, интегрированной с токарно-винторезным станком 1М65, были проведены экспериментальные исследования и решены следующие задачи:

– разработаны кинематическая схема (рис. 1) и компоновка опытного устройства, интегрированного с токарно-винторезным станком 1М65 (рис. 2);

– разработана конструкторская документация на узлы устройства: шпиндельную головку (рис. 3), конический редуктор (рис. 4), раздаточную коробку (рис. 5), механизм круговой подачи (рис. 6);

– разработаны технологические рекомендации, учитывающие особенности изготовления и монтажа устройства, интегрированного с токарно-винторезным станком модели 1М65;

– изготовлен опытный образец устройства;

– выполнен монтаж изготовленного устройства на токарно-винторезном станке модели 1М65;

– выполнено апробирование опытного образца технологического оснащения (устройства и режущего инструмента) для ротационного точения винтовой поверхности на примере обработки винтовой поверхности конвольютного типа на корпусе червячной фрезы модуля 10 мм.

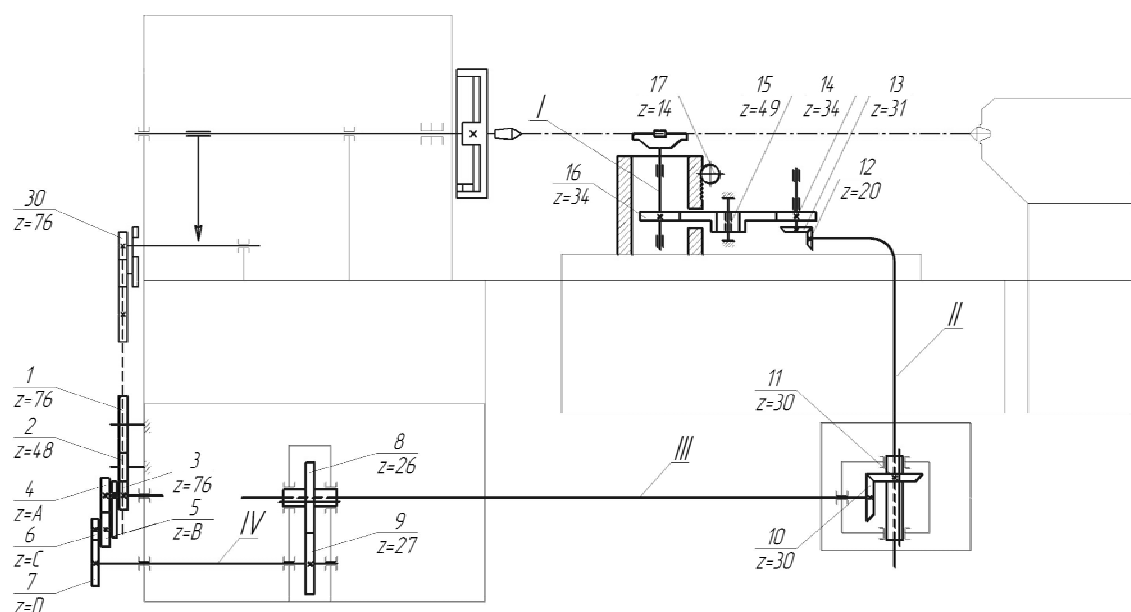


Рис. 1. Кинематическая схема опытного устройства:

1–30 – зубчатые колеса; $z = 14 \dots 76$ – количество зубьев зубчатых колес; I–IV – валы

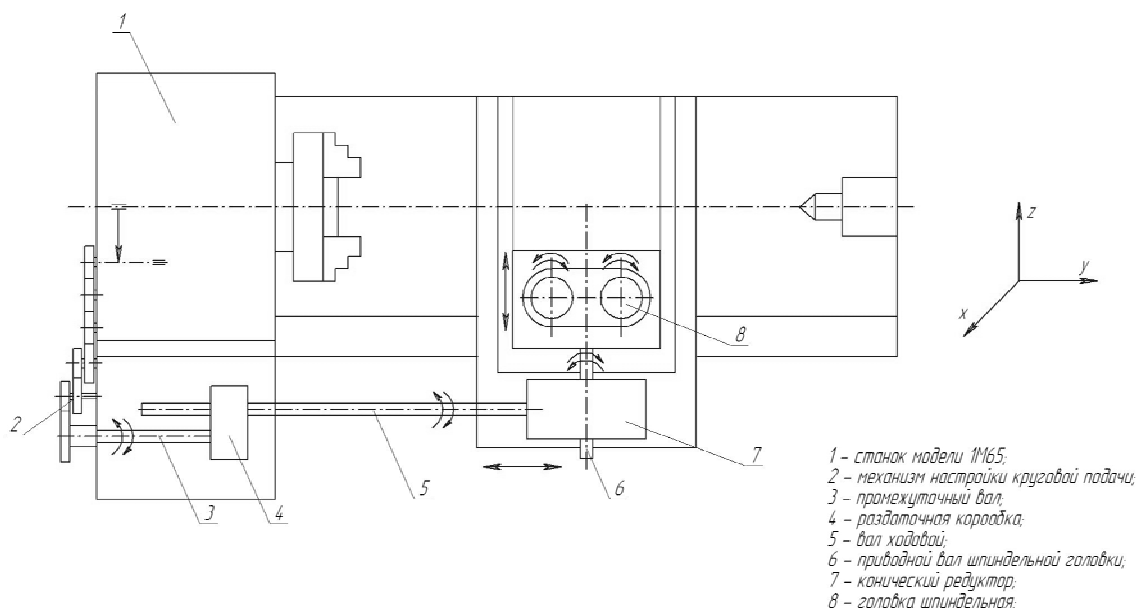


Рис. 2. Схема компоновки устройства, интегрированного с токарно-винторезным станком модели 1М65

Опытное устройство, интегрированное с токарно-винторезным станком 1М65 (рис. 7), содержит шпиндельную головку 5, установленную на поперечных салазках суппорта станка вместо резцедержателя, конический редуктор 6, расположенный на каретке суппорта, раздаточную коробку 3, механизм круговой подачи 9, ходовой вал 4, который одним концом подвижно соединен с раздаточной коробкой 3, а другим концом неподвижно зафиксирован в выходном вале конического редуктора 6. Механизм круговой подачи через промежуточный вал 2 соединен с выходным валом раздаточной коробки 3.

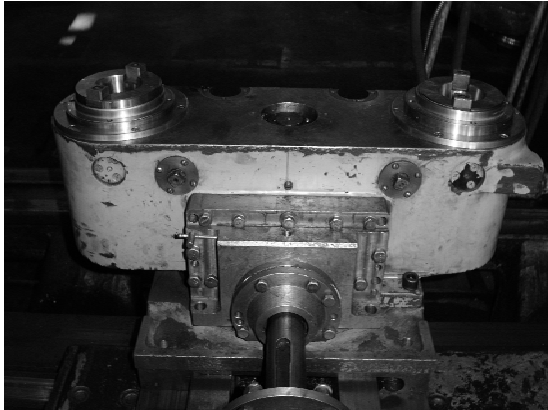


Рис. 3. Корпус двухшпиндельной головки

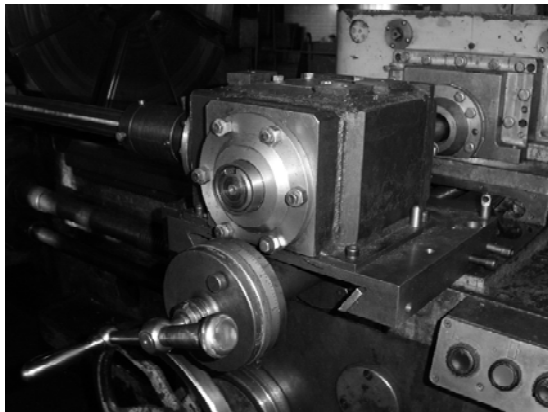


Рис. 4. Конический редуктор

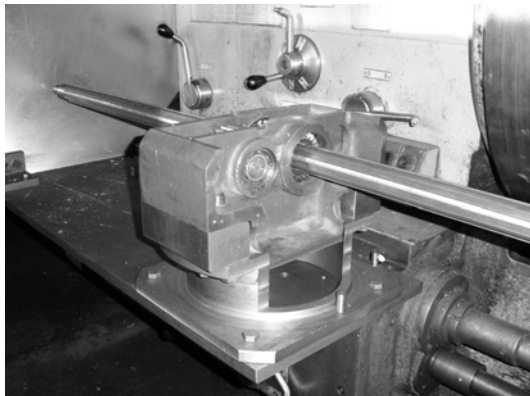


Рис. 5. Раздаточная коробка

В коническом редукторе смонтированы конические шестерни 10, 11, в шпиндельной головке – конические шестерни 12, 13, шпоночный валик II и инструменталь-

ный шпиндель I, на котором закреплен многолезвийный инструмент (см. рис. 1).

Профиль режущих кромок инструмента сопряжен с профилем обрабатываемой винтовой поверхности.

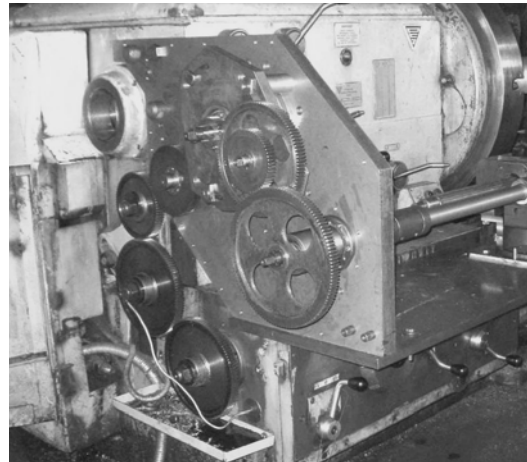


Рис. 6. Механизм круговой подачи

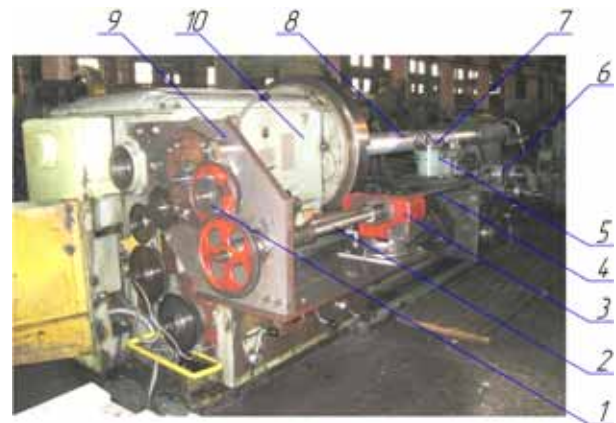


Рис. 7. Общий вид опытного устройства: 1 – гитара сменных зубчатых колес; 2 – вал; 3 – раздаточная коробка; 4 – ходовой вал; 5 – шпиндельная головка; 6 – конический редуктор; 7 – многолезвийный инструмент; 8 – обрабатываемая заготовка; 9 – механизм круговой подачи; 10 – станок 1М65

Коническая шестерня 11 имеет подвижное соединение без вращения со шпоночным валиком II (см. рис. 1), что обеспечивает возможность перемещения шпиндельной головки в направлении, перпендикулярном горизонтальной оси обрабатываемой заготовки. Шпиндель I шпиндельной головки получает вращение от шпинделя станка через постоянные зубчатые колеса 1, 2, 3 и сменные зубчатые колеса 4, 5, 6, 7 гитары механизма круговой подачи, промежуточный вал IV, шестерни 8, 9 раздаточной коробки, ходовой вал III, конические шестерни 10, 11 конического редуктора, вал II, конические шестерни 12, 13, цилиндрические шестерни 14, 15, 16 (см. рис. 1).

Опытное устройство работает следующим образом. Заготовка, на которой необходимо обработать винтовую поверхность, закрепляется в зажимном приспособлении, смонтированном на шпинделе станка, и поджимается центром, установленным в пиноли задней бабки. Исходя из характеристики винтовой поверхности обрабатываемой

мой детали, числа режущих элементов инструмента и выбранной продольной подачи передаточное отношение зубчатых колес гитары определяется по формуле

$$i_x = \frac{n}{K_x \cdot Z_u} \cdot \left(1 \pm \frac{S}{T}\right),$$

где n – число заходов винтовой поверхности; K_x – постоянный коэффициент, характеризующий кинематическую цепь станка; S – продольная подача; T – ход винтовой линии обрабатываемой детали [3]. Знак минус используется при правом направлении винтовой линии, знак плюс – при левом. При наличии реверса в станке знак минус соответствует обоим направлениям винтовой линии. По рассчитанному передаточному отношению производится подбор необходимых сменных зубчатых колес и выполняется настройка гитары.

Расчет настройки гитары механизма круговой подачи был реализован при обработке винтовой поверхности со следующими характеристиками: осевой шаг $T = 70,162$ мм; число заходов $n = 1$; постоянный коэффициент кинематической цепи устройства $k_x = 0,645161$; направление винтовой линии правое; продольная подача $S = 1,25$ мм/об, число режущих элементов инструмента $z = 12$:

$$i_x = \frac{n}{k_x \cdot z} \cdot \left(1 \pm \frac{S}{T}\right) = \frac{1}{0,645161 \cdot 12} \cdot \left(1 - \frac{1,25}{70,160}\right) = 0,131468.$$

По рассчитанному передаточному отношению выполнялся подбор зубчатых колес гитары:

$$\frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} = 0,131468,$$

$$0,131468 = \frac{94}{715},$$

$$\frac{94}{715} = \frac{2 \cdot 47}{5 \cdot 11 \cdot 13},$$

$$\frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} = \frac{32 \cdot 47}{104 \cdot 110}.$$

При помощи коробки подач станка устанавливалась выбранная продольная подача. Затем производилось включение вращения шпинделя станка и продольной подачи с одновременным вращением винта, от которого перемещались поперечные салазки суппорта станка. Шпиндельная головка с инструментом настраивалась на требуемую глубину резания, после чего салазки закреплялись. Дальнейшая обработка винтовой поверхности проводилась при постоянном расстоянии между осями детали и инструмента в автоматическом режиме.

Апробирование опытного образца технологического оснащения (устройства и режущего инструмента) для реализации технологии ротационного точения винтовой поверхности деталей машин проводилось путем обработки деталей с радиусной формой винтовой поверхности и винтовой поверхности, соответствующей профилю конволютного червяка (рис. 8–12).

Режимы обработки: продольная подача $S = 1,25$ мм; скорость резания $V = 26$ м/мин; глубина резания – 3 мм.

Параметры применяемого многолезвийного инструмента: число зубьев – 24; профиль эвольвентный; наружный диаметр – 260 мм; угол наклона зубьев $4^\circ 39'$; режу-

щие элементы изготовлены из быстрорежущей стали Р6М5.



Рис. 8. Ротационная резцовая головка для обработки винтовой поверхности радиусного профиля

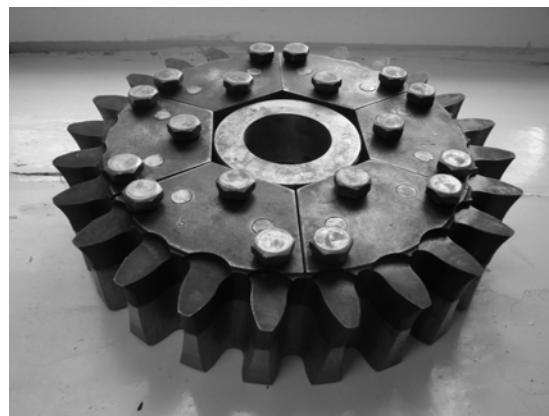


Рис. 9. Ротационная резцовая головка для обработки винтовой поверхности на червячной фрезе конволютного типа

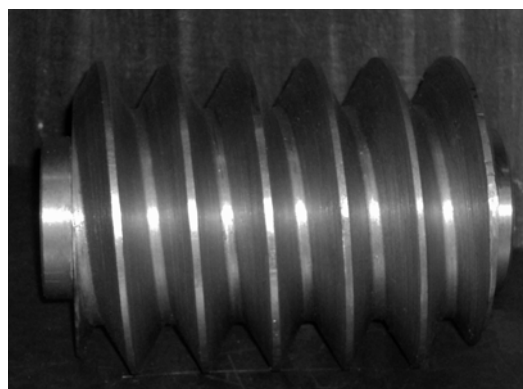


Рис. 10. Корпус червячной фрезы с модулем 10 мм с обработанной винтовой поверхностью конволютного типа

Параметры полученной винтовой поверхности на корпусе червячной фрезы: $m = 10$ мм; глубина винтовой поверхности – 25 мм; осевой шаг $t = 31,5$ мм; максимальная шероховатость $R_z = 80$ мкм; погрешность осевого шага $\pm 0,1$ мм.

При апробировании технологического оснащения (устройства и режущего инструмента) оценивались следующие параметры:

- работоспособность сборочных узлов, режущего инструмента и устройства в целом;
- процесс срезания припуска и вид образующейся при этом стружки;
- особенности формирования профиля винтовой поверхности;
- влияние изменения режимных параметров (скорости и глубины резания и подачи) на работоспособность сборочных узлов и режущего инструмента;
- производительность процесса;
- удобство настройки гитары механизма круговой подачи и управления устройством в целом.



Рис. 11. Стружка, полученная при обработке винтовой поверхности радиусного профиля



Рис. 12. Стружка, полученная при обработке винтовой поверхности конвольютного типа

Обработка винтовой поверхности при апробировании устройства и режущего инструмента проводилась с продольной подачей 1,25 мм/об, что более чем в семь раз превышает возможности по подаче станка ЕЗ-10А (его допустимая подача составляет 0,159 мм/об) и более чем в три раза возможности устройства, описанного в работе [5] (допустимая подача – 0,4 мм/об).

Таким образом, результаты апробирования опытного устройства и режущего инструмента показали следующее:

- доказана работоспособность опытного устройства, интегрированного с токарно-винторезным станком, для ротационного точения наружной винтовой поверхности деталей машин многолезвийным инструментом, разработанного и изготовленного с учетом сформулированных в данной статье требований;
 - возможности обеспечения режимных параметров (продольной подачи) изготовленного устройства превышают возможности станка модели ЕЗ-10А более чем в семь раз, а устройства [5] – более чем в три раза;
 - разработанная компоновка устройства является универсальной, так как она обеспечивает возможность его интегрирования со всеми типоразмерами универсальных токарно-винторезных станков;
 - обеспечивается эффективное дробление стружки без внесения дополнительных изменений в кинематику процесса, что требуется при других способах дробления стружки;
 - расширение технологических возможностей универсальных токарно-винторезных станков путем интеграции с ними устройства для ротационного точения является наиболее приемлемым вариантом создания оборудования для реализации технологии ротационного точения винтовой поверхности деталей машин многолезвийным инструментом в условиях единичного и мелкосерийного производства;
 - необходима доработка опытной конструкции шпиндельной головки устройства, которая состоит в замене цилиндрических зубчатых колес 14, 15, 16 и конических колес 12, 13 (см. рис. 1) в приводе шпинделя на червячную пару. Такая замена позволит увеличить крутильную жесткость кинематической цепи шпиндельной головки.
- Полученные результаты могут быть использованы при разработке опытно-промышленной технологии ротационного точения наружной винтовой поверхности деталей машин многолезвийным инструментом.

Библиографические ссылки

1. Сахаров Г. Н. Проектирование круглых обкаточных резцов // Новое в конструировании металлорежущего инструмента. М. : Машгиз, 1958. С. 7–58.
2. Сахаров Г. Н. Обкаточные инструменты. М. : Машиностроение, 1983.
3. Металлорежущие станки / Н. С. Ачеркан, Л. А. Гаврюшин, В. В. Ермаков и др. М. : Машиностроение, 1965.
4. А. с. 129463 СССР, МКИ В 23 f 3/00, В 23 f 13/00. Приспособление для нарезания червяков обкаткой долбьяками на токарных станках / П. И. Журов, Д. В. Оргов. Заявл. 16.11.59 ; опубл. 12.12.60.
5. Цвис Ю. В. Исследование точения по методу обкатки ВНИИ ЦБТИ станкостроения. М., 1950.
6. Пат. 2253545 Российская Федерация, МПК В 23 В 5/48. Устройство к токарному станку для обработки винтовой поверхности / Л. С. Малько. Опубл. 10.06.2005, Бюл. № 16.
7. Малько Л. С. Ротационное точение винтовой поверхности крупногабаритных деталей // СТИН. 2007. № 11. С. 39–40.

L. S. Malko, A. V. Sutyagin, I. V. Trifanov

PERFECTION OF THE DESIGN OF THE DEVICE INTEGRATED WITH THE TOKARNO-SCREW CUTTER, FOR ROTATIONAL TURN EXTERNAL SCREW SURFACE MULTIBLADES TOOL

Konstruktorsko-technological features of the device for rotational turn screw surfaces multiblades tool.

Keywords: rotational turn, the kinematic scheme, a screw surface, spindle a head, the mechanism of circular giving.

© Малько Л. С., Сутягин А. В., Трифанов И. В., 2010

УДК 621.81.004

Л. С. Малько, А. В. Сутягин, И. В. Трифанов

РАЗРАБОТКА МНОГОЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ РОТАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН*

Предложена методика разработки многолезвийного инструмента для ротационного точения винтовой поверхности.

Ключевые слова: ротационное точение, многолезвийный инструмент, винтовая поверхность, геометрическая графоаналитическая модель.

Известен способ обработки винтовой поверхности (ВП) деталей винтовых механизмов и инструмента (червячных фрез) многолезвийным инструментом, кинематика формообразования которого характеризуется качением без скольжения центроиды инструмента в форме окружности по центроиде детали в форме прямой линии [1]. Взаимодействие режущего клина инструмента с материалом заготовки осуществляется в виде комбинации движения качения со скольжением, что является характерным признаком ротационного точения.

Для традиционных способов лезвийной обработки это контактное взаимодействие осуществляется в виде скольжения и является постоянным [2]. Одни авторы такой способ обработки ВП называют обработкой обкаточными резцами, акцентируя внимание только на определении профиля инструмента, сопряженного профилю ВП, т. е. на придание ВП требуемой формы. Другие авторы относят его к ротационному точению, учитывая не только характер формообразования ВП, но и характер взаимодействия режущего элемента инструмента с материалом заготовки и его послойное срезание [3; 4].

В данном исследовании будем придерживаться второй точки зрения как наиболее полно отражающей обе функции инструмента – послойное срезание с поверхности припуска и придание ей требуемой формы.

Как отмечено в работе [1], рассматриваемый способ обработки ВП обеспечивает получение поверхностей сложной формы с высокой точностью при большой эффективности, внутреннюю автоматизацию процесса об-

работки, которая осуществляется в полуавтоматическом цикле при непрерывном переходе обработки от одной поверхности детали к другой (например, от одного захода ВП к другому заходу) без необходимости периодического поворота детали, т. е. процесса деления, снижает трудоемкость и способствует уменьшению потребности в станочниках высокой квалификации, так как точность обработки обеспечивается настройкой станка и точностью инструмента.

Однако широкого распространения этот способ обработки ВП в промышленности не нашел. Экспериментальных и практических данных о нем крайне мало. В классической литературе по технологии машиностроения отсутствуют данные о режимах резания, конструкции инструмента и оснастки, не освещены вопросы технологии обработки ВП деталей винтовых механизмов для различных типов производства. Соответственно не разрабатываются и не изготавливаются оборудование, инструмент и оснастка для обработки ВП деталей винтовых механизмов на основе ротационного точения [5]. Практическое использование способа ограничивается только его применением в условиях крупносерийного производства при нарезании червяков и червячных фрез модулем до 6 мм на выпускаемом для этих целей специальном станке модели ЕЗ-10А, обеспечивающем нарезание ВП на деталях с наибольшим диаметром 100 мм и длиной 300 мм, на котором в качестве инструмента используются зуборезные долбяки с эвольвентным профилем, а в основе кинематики лежит дифференциальная структурная схема [6; 7].

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (грант № 20 от 26 мая 2010 г.).

Выводы, сделанные в работе [5], о том, что внедрение в производство этого способа обработки наружных ВП деталей различного профиля сдерживается из-за его малой изученности, недостаточности экспериментальных и практических данных о процессе и отсутствия соответствующего технологического оснащения, справедливы и по настоящее время.

Качество обработанной поверхности, производительность и эффективность процесса обработки, а также характер и число движений формообразования для создания поверхности во многом зависят от метода образования производящих линий. Для способа обработки наружной ВП ротационным точением многолезвийным инструментом производящая образующая линия рассчитывается по методу огибания, а винтовая направляющая линия – по методу кинематического профилирования. При этом относительное движение детали и инструмента сводится к мгновенному вращению.

Распределение элементарных движений между инструментом и деталью при ротационном точении ВП происходит согласно двум вариантам (рис. 1) [7].

Согласно первому варианту (рис. 1, а) деталь и инструмент выполняют следующие элементарные движения:

- деталь совершает вращательное движение вокруг своей оси. Это вращение будет являться результатом суммирования двух видов движения: B_1 и B_4 . Движение B_1 количественно оценивается установленным числом оборотов детали, движение B_4 – поворотом детали на число оборотов, равное $\frac{S}{\pi D} \cdot z$, где S – продольная подача инструмента на один оборот детали, мм; z – число режущих элементов инструмента; D – диаметр окружности центроида инструмента, мм;

- инструмент совершает вращательное движение B_2 вокруг своей оси. Движение B_2 количественно оценивает

ся числом оборотов, равным $\frac{n \cdot k}{z}$, где n – число оборотов изделия в минуту; k – число заходов ВП обрабатываемой детали; z – число режущих элементов инструмента;

- инструмент совершает поступательное движение Π_3 вдоль оси детали. Движение Π_3 количественно оценивается величиной продольной подачи S инструмента на один оборот изделия.

Второй вариант (рис. 1, б) характеризуется следующим распределением движений между деталью и инструментом:

- деталь совершает вращательное движение B_1 вокруг своей оси. Движение B_1 количественно оценивается установленным числом оборотов детали;

- инструмент совершает вращательное движение вокруг своей оси. Это движение будет результатом суммирования двух видов движения: B_2 и B_4 . Движение B_2 количественно оценивается поворотом инструмента вокруг своей оси на число оборотов, равное $\frac{k}{z}$, где k – число заходов обрабатываемой ВП; z – число режущих элементов инструмента. Движение B_4 количественно оценивается поворотом инструмента вокруг своей оси на число оборотов, равное $\frac{S}{\pi D}$, в направлении, противоположном движению B_2 , где S – продольная подача инструмента на один оборот детали, мм; D – диаметр окружности центроида инструмента, мм;

- инструмент совершает поступательное движение Π_3 вдоль оси детали, которое количественно оценивается величиной продольной подачи S инструмента на один оборот изделия.

Выполненный анализ схем движений (см. рис. 1) по методике, изложенной в работе [6], позволил установить состав движений цикла обработки, характерных для дан-

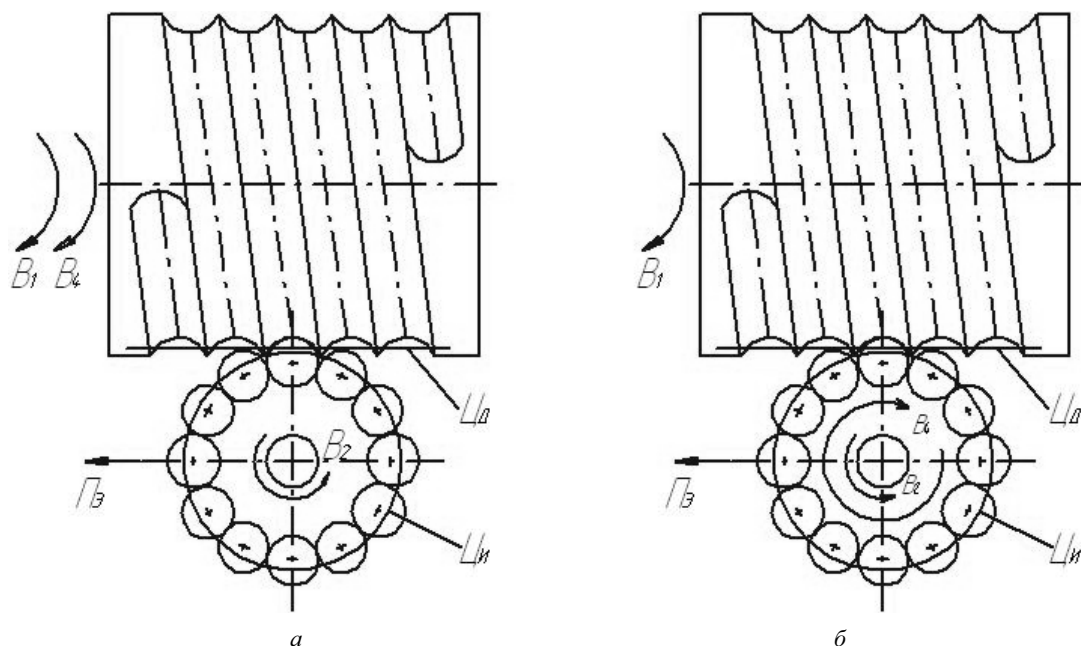


Рис. 1. Схемы движений при образовании ВП ротационным точением многолезвийным инструментом:
а – движения B_1 и B_4 суммируются на оси детали; б – движения B_2 и B_4 суммируются на оси инструмента;
 Π_3 – центр тяжести детали; $\Pi_и$ – центр тяжести инструмента

ного процесса, и произвести их количественную оценку. Полученные результаты были использованы для решения таких задач, как разработка конструкторско-технологических решений при проектировании и изготовлении инструмента, создание геометрической графоаналитической модели формирования профиля ВП и практическая реализация процесса ротационного точения наружной ВП деталей машин.

При профилировании режущих кромок многолезвийного инструмента для ротационного точения использовалась теория профилирования режущих инструментов, в основе которой лежит комплексный учет взаимосвязанных факторов, определяющих погрешности профилирования обрабатываемой поверхности. К таким факторам относят кинематику формообразования, параметры установки инструмента относительно обрабатываемой поверхности и технологические особенности изготовления режущей части проектируемого инструмента.

Исходя из кинематической схемы формообразования (см. рис. 1) в основу расчета профиля режущих элементов инструмента был положен плоскостной аналитический метод определения сопряженных профилей детали и инструмента путем нахождения огибающей семейства кривых [1].

Для расчета профиля режущей кромки многолезвийного инструмента, используемого при обработке ВП кругового профиля, применялась следующая схема (рис. 2) [8].

Конечные формулы для определения профиля режущей кромки многолезвийного инструмента для обработки ВП кругового профиля, заданного в параметрической форме и в виде явной функции, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} x &= (r - b/\cos \theta_0) \sin(\theta_0 - \varphi) - R \sin \varphi, \\ y &= (r - b/\cos \theta_0) \cos(\theta_0 - \varphi) + R \cos \varphi, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\varphi = -(b/R) \operatorname{tg} \theta_0$; $r, b, \theta_0, \varphi, R$ – см. обозначения на рис. 2;

$$\left. \begin{aligned} x &= \left(-\frac{bx_2}{\sqrt{r^2 - x_2^2}} + x_2 \right) \cdot \cos \varphi - \left(\sqrt{r^2 - x_2^2} - b + R \right) \cdot \sin \varphi, \\ y &= \left(-\frac{bx_2}{\sqrt{r^2 - x_2^2}} + x_2 \right) \cdot \sin \varphi + \left(\sqrt{r^2 - x_2^2} - b + R \right) \cdot \cos \varphi, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\text{где } \varphi = -\frac{b}{R} \cdot \frac{x_2^2}{\sqrt{r^2 - x_2^2}}.$$

Формулы (1), (2) были определены с учетом работы [9] и расчетной схемы (см. рис. 2).

На основе выполненных теоретических исследований был проведен расчет профиля режущей кромки многолезвийного инструмента для обработки ВП радиусного профиля (рис. 3) при следующих значениях его параметров и расположении центриды:

- радиус профиля ВП поверхности $r = 24$ мм;
- осевой шаг винтовой линии $t = 60,21$ мм;
- расстояние центроиды детали Π_d от центра радиусного профиля $b = 17$;

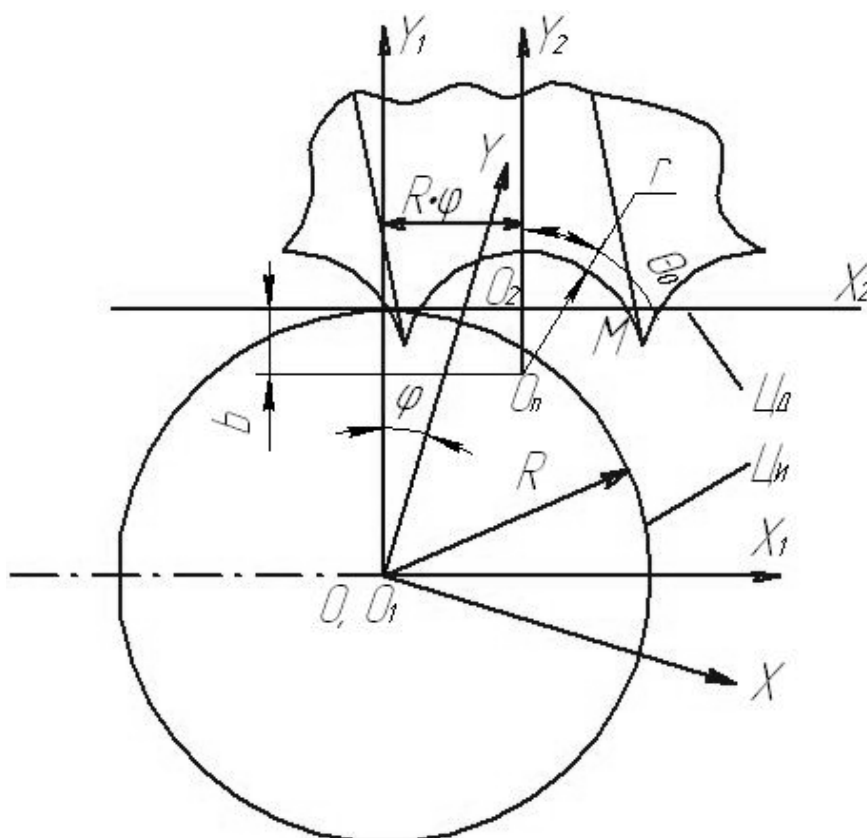


Рис. 2. Расчетная схема для определения профиля режущих элементов инструмента для обработки ВП кругового профиля:

XOY – подвижная система координат, связанная с инструментом; $X_1O_1Y_1$ – неподвижная система координат;

$X_2O_2Y_2$ – подвижная система координат, связанная с деталью; b – расстояние от центра профиля до центроида C_n детали;

R – радиус центриды Π_n инструмента; α – угол поворота системы координат XOY ; u_0 – параметр профиля винтовой поверхности детали; Π_c – центрида инструмента; Π_d – центрида детали; r – радиус профиля винтовой поверхности

– глубина радиусного профиля $h = 14$ мм с учетом расчетной схемы на рис. 2 и формул (1).

Расчет выполнялся следующим образом:

– радиус центроиды инструмента R , мм, при принятом числе режущих элементов $z = 12$ определялся по формуле

$$R = \frac{z \cdot t}{2\pi} = \frac{12 \cdot 60,21}{2 \cdot \pi} = 114,99;$$

– интервал изменения угла θ_0 взят из схемы на рис. 3:

$$\arccos \theta_0 = \frac{r-h}{r} = \frac{10}{24} = 65,4^\circ, [0^\circ, 66^\circ].$$

Дискретные значения угла θ_0 принимались через 12° ;

– угол φ вычислялся по формуле $\varphi = -\frac{b}{R} \cdot \operatorname{tg} \theta_0$. Результаты расчета представлены в табл. 1;

– заданные значения параметров ВП и рассчитанное значение радиуса центроиды инструмента R подставлялись в формулы (1). Полученные координаты режущей кромки инструмента приведены в табл. 2 и на рис. 4.

С учетом симметричности профиля режущей кромки координата x принимается с двумя знаками. Для удоб-

ства контроля профиля режущей кромки координата y уменьшена на величину радиуса центроиды инструмента и также представлена в табл. 2.

В процессе формирования профиля ВП режущий инструмент послойно срезает с поверхности припуск и придает ей требуемую форму. Знание закономерности среза припуск при формировании ВП, наряду с другими факторами, позволяет проектировать режущий инструмент с гарантированными показателями надежности и работоспособности, а также устанавливать оптимальные режимы обработки ВП.

Для изучения характера движения режущей кромки в процессе генерации профиля винтовой поверхности, формы и размера продольного и поперечного сечения срезаемого слоя необходима разработка геометрической графоаналитической модели генерации профиля винтовой поверхности ротационным точением. Существующая модель является геометрической, потому что она отражает только вопросы формирования геометрии профиля винтовой поверхности ротационным точением и не касается вопросов физики процесса резания материала детали.

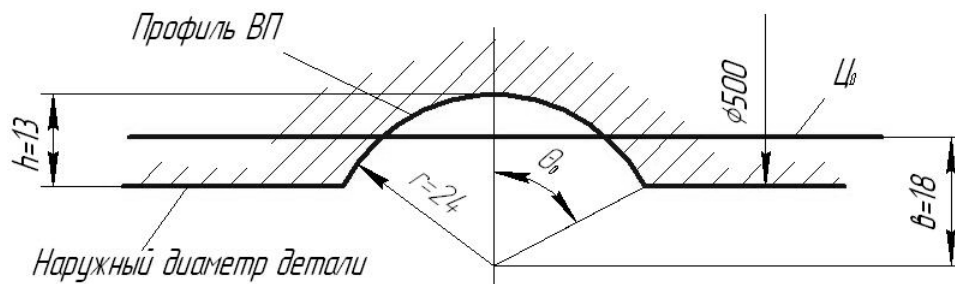


Рис. 3. Профиль ВП детали

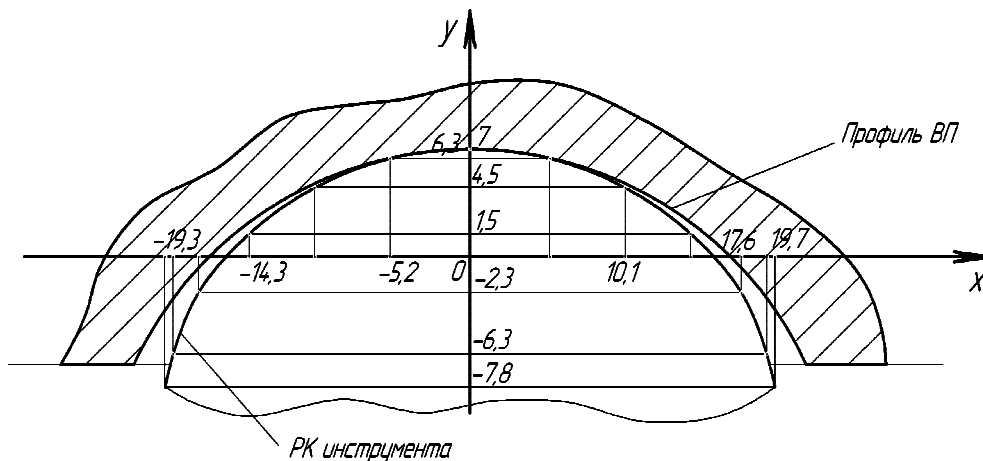


Рис. 4. Профиль режущей кромки инструмента, построенный в масштабе 2:1

Таблица 1

Результаты расчета угла φ

θ_0 , град	0	12	24	36	48	60	66
φ_0 , град	0	-1,8	-3,8	-6,2	-9,4	-14,5	-19,1

Таблица 2

Результаты расчета координат режущей кромки инструмента

x	0	$\pm 5,2$	± 10	$\pm 14,3$	$\pm 17,6$	$\pm 19,3$	$\pm 19,7$
y	121,9	121,3	121,5	116,5	112,6	108,6	107,1
$(y - R)$	7	6,3	4,5	1,5	-2,3	-6,3	-7,8

Известен графоаналитический метод определения сопряженных профилей по двум фиксирующим точкам [10]. Суть моделирования состоит в следующем: в масштабе увеличения изготавливается известный профиль ВП в форме шаблона и на оси симметрии наносятся две базовые точки A и B , а координаты фиксирующих точек определяются по формулам

$$\begin{aligned}x_B &= r_{\omega_1} (\varphi_1 - \sin \varphi_1) - L' \sin \varphi_1, \\y_B &= r_{\omega_1} (1 - \cos \varphi_1) - L' \cos \varphi_1, \\x_A &= r_{\omega_1} (\varphi_1 - \sin \varphi_1) + L' \sin \varphi_1, \\y_B &= r_{\omega_1} (1 - \cos \varphi_1) + L' \cos \varphi_1.\end{aligned}\quad (3)$$

Шаблон с базовыми точками последовательно совмещается со всеми парами фиксирующих точек, ранее нанесенных на лист бумаги, и каждый раз очерчивается по контуру карандашом. В итоге будет получена графическая часть модели.

Формулы (3) для упрощения расчетов и последующего исследования результатов моделирования необходимо уточнить. Суть уточнения состоит в их приведении к виду строгих математических кривых.

Анализ схемы движения при образовании ВП ротационным точением (см. рис. 1) показывает, что движение центроиды инструмента в форме окружности по центроиде детали в форме прямой линии соответствует движению при образовании циклоиды, при этом центроида инструмента соответствует производящему кругу, центроида детали – производящей линии. Учитывая изложенное, точка, лежащая на подвижной центроиде или вне ее и жестко с ней связанная, описывает при ее качении без скольжения по неподвижной центроиде детали трахоидальные кривые (обыкновенную, удлиненную или укороченную циклоиду). Поэтому вместо уравнений (3) можно использовать уравнения трахоидальных кривых:

$$\begin{aligned}x_M &= R(\varphi - \sin \varphi), \\y_M &= R(1 - \cos \varphi), \\x_M &= R\left(\varphi - \frac{CM}{R} \sin \varphi\right), \\y_M &= R\left(1 - \frac{CM}{R} \cos \varphi\right),\end{aligned}\quad (4)$$

где R – радиус центроиды инструмента; CM – расстояние базовой точки от центра инструмента; φ – угол качения.

При разработке геометрической графоаналитической модели формирования профиля ВП и исследовании процесса срезания припуска принималось, что профиль ВП детали, а также сопряженный с ним профиль режущего элемента инструмента известны. Такой подход при применении метода обращенного движения (инверсии) позволяет выбирать оптимальный вариант неподвижного звена (инструмент или деталь). При этом базовые точки A и B располагаются на пересечении оси симметрии режущего элемента с вершиной режущей кромки и центроидой инструмента соответственно, т. е. точка A располагается вне центроиды, а точка B – на центроиде.

Геометрическая часть модели, построенная по данной методике, представлена ниже (рис. 5). Для большей наглядности на рис. 5 показано движение только входной режущей кромки инструмента. Из анализа этой части

модели следует, что толщина сечений срезов припуска в процессе генерации профиля ВП изменяется. Таким образом, процесс является вибрационным и этот факт необходимо учитывать при разработке технологического оснащения.

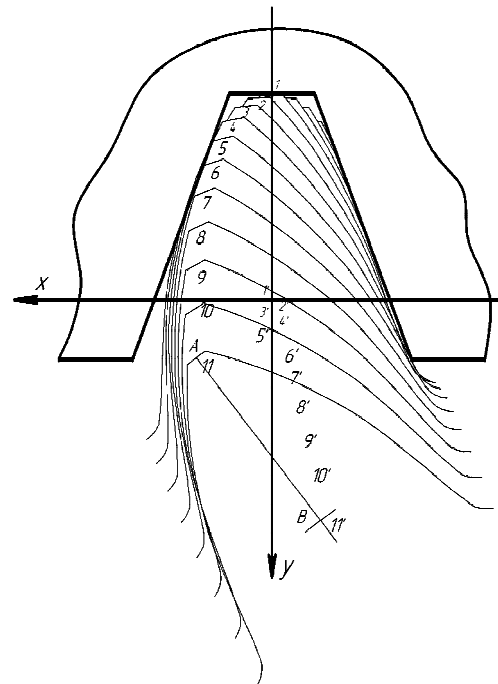


Рис. 5. Графическая часть модели для профиля, соответствующего осевому сечению архимедова червяка: A и B – базовые точки, расположенные на оси симметрии шаблона режущего элемента; $1-12$, $2-2'$, ..., $11-11'$ – пары фиксирующих точек

Процесс построения графической части модели с использованием чертежных инструментов требует значительных затрат времени. Однако в настоящее время удалось получить графическую часть модели формообразования ВП радиусного профиля ротационным точением с помощью компьютерного моделирования с использованием программы MathCAD (рис. 6).

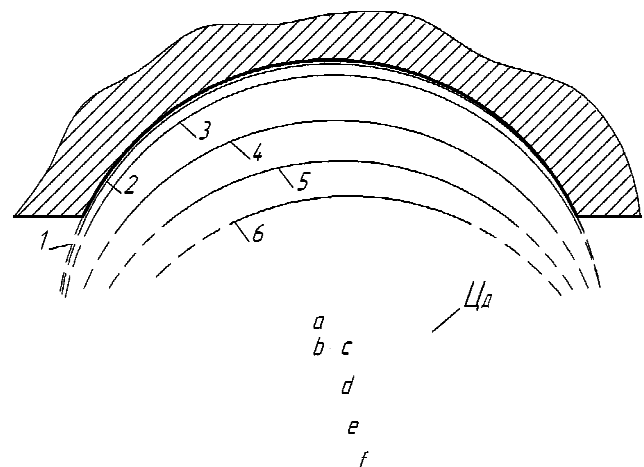


Рис. 6. Графическая часть модели при обработке ВП радиусного профиля: $a-f$ – фиксирующие точки; $1-6$ – линии среза обрабатываемого материала

При построении модели с целью упрощения вычислений параметр b (см. рис. 2) в расчетных формулах (1) принят равным нулю, т. е. центроида детали проходит через центр радиусного профиля. После подстановки $b = 0$ в формулу (1) и в выражение для угла $\varphi = -\frac{b}{R} \cdot \operatorname{tg} \theta_0$ и выполнения соответствующих преобразований в (1) формулы для определения профиля режущей кромки инструмента принимают вид

$$\left. \begin{aligned} x &= r \cdot \sin \theta_0, \\ y &= r \cdot \cos \theta_0 + R. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Выражение (5) является уравнением окружности радиуса r в семействе координат XOY , связанной с инструментом. Таким образом, если центроида детали проходит через центр радиусного профиля, то форма режущей кромки инструмента соответствует радиусному профилю детали. В этом случае при построении модели используется только одна базовая точка B , совпадающая с центром радиусного профиля. Результаты моделирования генерации профиля ВП с изменением одного из технологических факторов (расположения центроиды детали) свидетельствуют о том, что разработанная модель восприимчива к изменению факторов, влияющих на процесс формирования ВП, и может быть использована для его исследования. А уточнение расчетных формул (3) позволяет сделать вывод о том, что характер движения режущих кромок в процессе генерации профиля ВП описывается трахоидальными кривыми.

На основании принятых конструкторско-технологических решений был спроектирован и изготовлен многолезвийный инструмент для ротационного точения винтовых поверхностей (рис. 7):

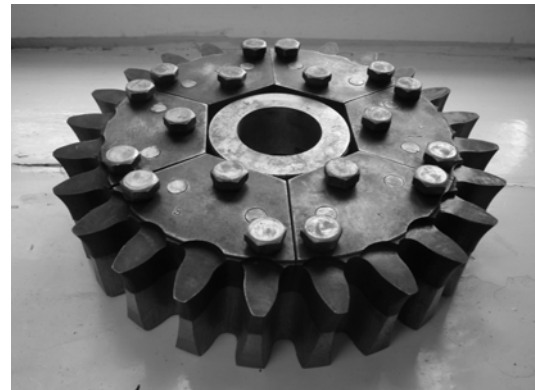
- с профилем соответствующим профиля архимедова червяка модулем 10 мм (рис. 7, а);
- кругового профиля с радиусом 24 мм (рис. 7, б).

Режущие кромки инструмента были изготовлены из стали Р6М5, корпус – из стали 40Х. Проведенные испытания подтвердили работоспособность инструментов при обработке ВП кругового профиля с радиусом 24 мм и профиля, соответствующего осевому сечению архимедова червяка модулем 10 мм.

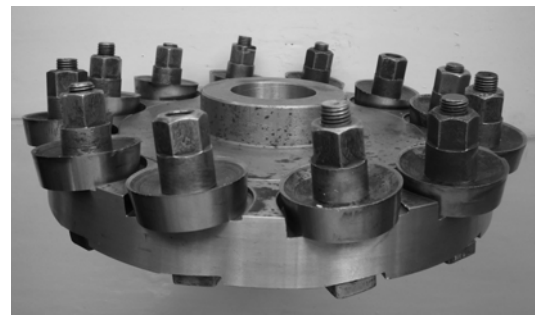
Таким образом, сделаем следующие выводы:

- в ходе исследования был проведен анализ схем движений при образовании ВП ротационным точением, установлен состав движений цикла обработки и произведена их количественная оценка;
- разработана расчетная схема для определения профиля режущих элементов инструмента для ротационного точения ВП кругового профиля;
- получены конечные формулы для определения профиля режущей кромки многолезвийного инструмента для обработки ВП кругового профиля;
- проведен расчет режущей части инструмента для обработки ВП радиусного профиля;
- разработана геометрическая графоаналитическая модель генерации профиля ВП ротационным точением;
- характер движения режущих кромок инструмента в процессе генерации профиля ВП описывается трахоидальными кривыми;

- спроектированы и изготовлены инструменты для обработки ВП радиусного профиля и профиля, соответствующего осевому сечению архимедова червяка;
- проведены испытания режущего инструмента, подтвердившие его работоспособность.



а



б

Рис. 7. Многолезвийные инструменты для ротационного точения ВП:

а – архимедова червяка; б – радиусного профиля

Библиографические ссылки

1. Сахаров Г. Н. Обкаточные инструменты. М. : Машиностроение, 1983.
2. Гик Л. А. Ротационное резание металлов. Калининград : Калинингр. кн. изд-во, 1990.
3. Попок Н. Н. Нетрадиционные виды ротационного резания // СТИН. 1994. № 8. С. 34–37.
4. Ермаков Ю. М. Развитие способов ротационного резания. М., 1989.
5. Металлорежущие станки / Н. С. Ачеркан, Л. А. Гаврюшин, В. В. Ермаков и др. М. : Машиностроение, 1965.
6. Федотенок А. А. Кинематическая структура металлорежущих станков. М. : Машиностроение, 1970.
7. Сахаров Г. Н. Проектирование круглых обкаточных резцов // Новое в конструировании металлорежущего инструмента. М. : Машгиз, 1958. С. 7–58.
8. Малько Л. С. Ротационное точение винтовой поверхности крупногабаритных деталей // СТИН. 2007. № 11. С. 39–40.
9. Фрайфельд И. А. Инструменты, работающие методом обкатки. Теория, профилирование и конструирование. М. ; Л. : Машиностроение, 1948.
10. Шишков В. А. Образование поверхности резания по методу обкатки. М. : Машгиз, 1951.

L. S. Malko, A. V. Sutyagin, I. V. Trifanov

WORKING OUT OF THE TOOL FOR ROTATIONAL TURN THE SCREW SURFACE OF DETAILS OF CARS

The working out technique multiblades tool for rotational turn is offered a screw surface.

Keywords: rotational turn, multiblades tool, a screw surface, geometrical graph-analytic model.

© Малько Л. С., Сутягин А. В., Трифанов И. В., 2010

УДК 662.73

И. О. Михалев, С. Р. Исламов

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА БУРОГО УГЛЯ БАЛАХТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ: ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В РЕГИОНЕ*

Предложен проект создания энерготехнологического комплекса для экологически чистой безотходной переработки недорогого бурого угля марки ЗБ Балахтинского месторождения Канско-Ачинского угольного бассейна в среднетемпературный кокс с получением тепловой и электрической энергии. Создание комплекса обеспечит увеличение стоимостной отдачи 1 т угля, будет способствовать экономическому росту в регионе и усилит конкурентные позиции отечественной черной металлургии на внутреннем и внешнем рынках за счет снижения издержек производства.

Ключевые слова: уголь, энерготехнологическая переработка, кокс, тепло, электроэнергия.

В условиях Красноярского края наиболее доступным и перспективным видом энергетических ресурсов являются угли Канско-Ачинского угольного бассейна (КАБ). Сегодня в крае достаточно сильна конкуренция между производителями угля. По существу, имеющиеся мощности по добыче в несколько раз превышают реальные потребности рынка. Это сдерживает дальнейшее развитие угольной отрасли. Совершенно очевидно, что необходима переориентация поставок угля за пределы местного энергетического рынка.

Бурый уголь Балахтинского месторождения КАБ наряду с предельно низкой зольностью обладает целым рядом уникальных свойств. В мире имеется всего три аналогичных месторождения: в Индонезии, Казахстане и Колумбии. Данный уголь является уникальным сырьем для глубокой переработки в ценные продукты. Для этой цели предлагается использовать современную экологически чистую технологию «Термококк-С».

В экономике известен эффект одновременного производства двух и более продуктов в рамках одного технологического процесса, когда высокая цена реализации одного из продуктов позволяет компенсировать практически все эксплуатационные затраты производственного цикла. В этом случае условная расчетная себестоимость второго продукта оказывается близкой к нулю. Именно такой экономический эффект достигается

в инновационной технологии переработки угля «Термококк-С».

В основу технологии «Термококк-С» положен защищенный патентами [1; 2] процесс карбонизации угля с обращенным воздушным дутьем. Продуктами переработки угля по данной технологии являются среднетемпературный кокс и горючий газ технологического и энергетического назначения. Промышленные предприятия по технологии «Термококк-С» функционируют в Красноярске (завод «Карбоника-Ф») и в Монголии (завод «Тугруг»).

Основной продукт переработки бурого угля – среднетемпературный кокс – представляет собой твердый углеродсодержащий материал, получаемый из ископаемых углей термической обработкой при температуре 1 000...1 200 К. Кокс применяется как металлургическое, агломерационное и технологическое топливо, карбюризатор, компонент бездымных бытовых топлив, углеродистый восстановитель для электротермических производств (при получении кремния, ферросплавов, фосфора и др.).

Дополнительный продукт переработки – горючий газ калорийностью около 700 ккал/м³ – пригоден для использования в качестве технологического топлива при обжиге кирпича, извести, в различных сушильных процессах, а также при генерации тепловой и электрической энергии для коммунального сектора.

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (соглашение о порядке целевого финансирования № 7 от 6 августа 2009 г.).

На основе результатов экспериментального исследования процесса слоевой карбонизации угля марки 3Б Балахтинского месторождения КАБ разработана концепция энерготехнологического комплекса (ЭТК) для переработки угля в среднетемпературный кокс с одновременным получением горючего газа, который будет использован для производства тепла и электрической энергии. Мощность комплекса – 300 тыс. т в год по углю. Концепция ЭТК предполагает строительство комплекса сооружений, обеспечивающих прием рядового угля, его дробление и рассев на две фракции, получение кокса (карбонизацию), отправку кокса и отсева угля железнодорожным транспортом потребителю, использование генераторного газа для выработки тепла и электроэнергии, природоохранные функции (см. рисунок).

Для получения высококачественного среднетемпературного кокса, удовлетворяющего техническим требова-

ниям металлургических производств и имеющего устойчивый сбыт, используется уголь марки 3Б Балахтинского месторождения класса 5...25 мм. В результате переработки получается кокс марки СК-М (среднетемпературный кокс мелкий) (см. таблицу).

Получение кокса по технологии «Термококс-С» по сравнению с традиционной технологией получения кокса в коксовых батареях позволяет снизить удельные выбросы NO_x в 20 раз, SO_x – в 4,5 раза, пыли – в 15 раз, веществ 2-го класса опасности – в 23 раза. Производственные сточные воды и вещества 1-го класса опасности в технологии «Термококс-С» не образуются. Удельные вредные выбросы при сжигании генераторного газа на порядок ниже, чем при сжигании угля, и сопоставимы с удельными вредными выбросами котельной установки на природном газе.

Реализация предлагаемого проекта создания ЭТК обеспечит увеличение стоимостной отдачи 1 т угля, будет спо-

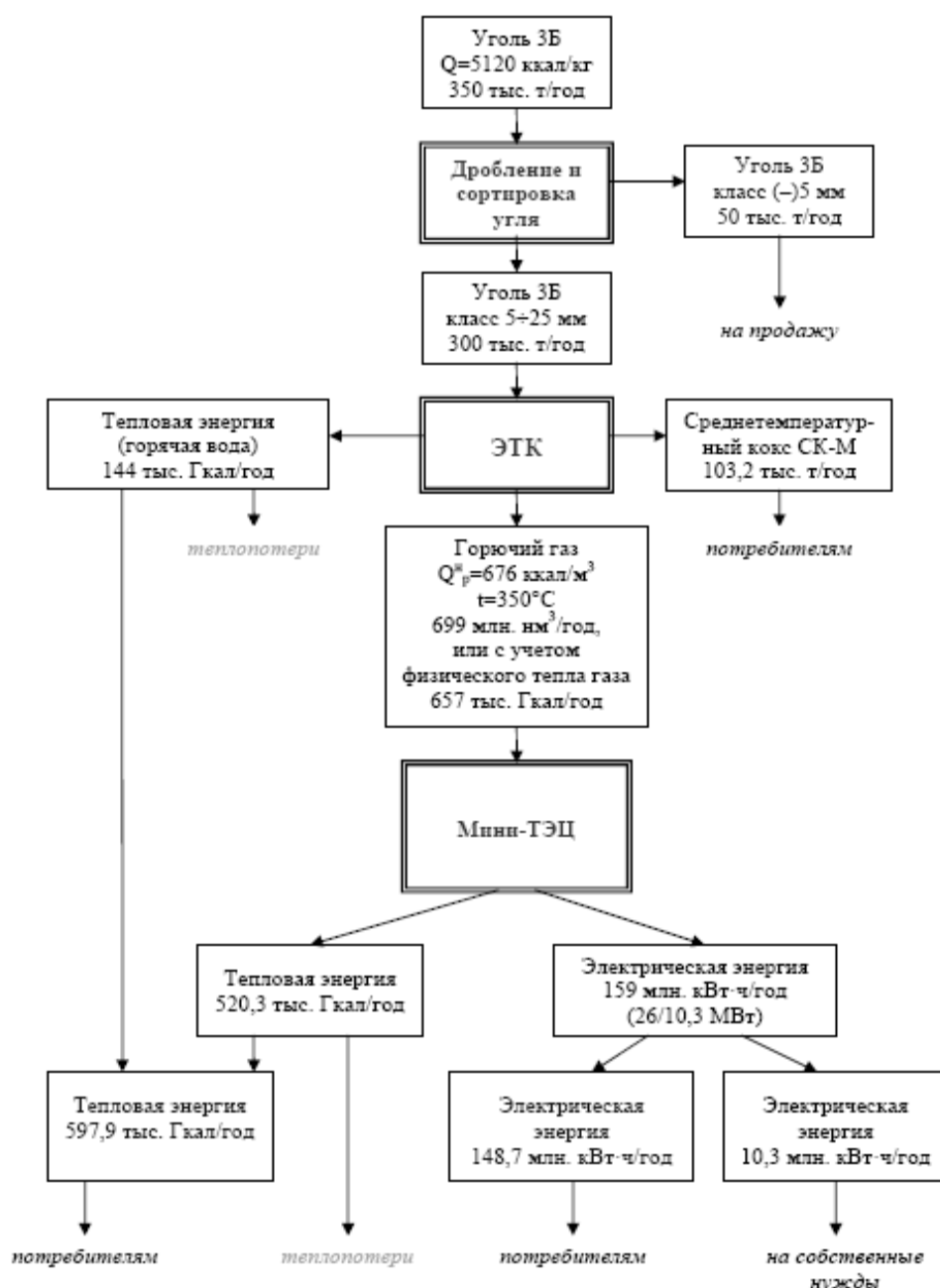


Схема использования угля марки 3Б Балахтинского месторождения для получения среднетемпературного кокса, тепловой и электрической энергии

способствовать экономическому росту в регионе, а также усилит конкурентные позиции отечественной черной металлургии на внутреннем и внешнем рынках за счет снижения издержек производства при замене дорогостоящего и дефицитного металлургического кокса среднетемпературным коксом, получаемым из недефицитных и недорогих энергетических углей КАБ.

Библиографические ссылки

1. Пат. 2285715 Российская Федерация, МКИ С 10 В 49/10. Способ получения металлургического среднетемпературного кокса / С. Р. Исламов, С. Г. Степанов. № 2005124136/04 ; заявл. 29.07.2005 ; опубл. 20.10.2006, Бюл. № 29.
2. Пат. 2288937 Российская Федерация, МКИ С 10 В 49/10. Способ получения металлургического среднетемпературного кокса / С. Р. Исламов, С. Г. Степанов. № 2005132548/04 ; заявл. 24.10.2005 ; опубл. 10.12.2006, Бюл. № 34.

Характеристики кокса марки СК-М

Наименование показателя	Норма для марки СК-М	Метод испытания
Внешний вид	Зерна неправильной формы, черного цвета	Визуально
Зольность на рабочую массу, %, не более	18	ГОСТ 12596–67
Массовая доля летучих веществ на сухую беззольную массу, %, не более	6	ГОСТ 6382–91
Массовая доля общей влаги, %, не более	5	ГОСТ 27314–91
Остаток на сите 10 мм, %, не более	10	ГОСТ 16187–70
Массовая доля серы, %, не более	0,5	ГОСТ 2408.1–95
Структурная прочность, %, не менее	—	Метод ВУХИН
Насыпная плотность, г/дм ³	Фиксируется	ГОСТ 16190–70
Низшая теплота сгорания на рабочую массу, МДж/кг (ккал/кг), не менее	26,4 (6 300)	ГОСТ 147–95

I. O. Mikhalev, S. R. Islamov

ENERGY-TECHNOLOGY CONVERSION OF BROWN COAL OF BALAKHTA COAL DEPOSIT: INNOVATIVE APPROACH TO ENERGY EFFICIENCY IN THE REGION

Project of creation of energy-technology complex for environment-friendly wasteless conversion of inexpensive 3B-grade brown coal of Kansk-Achinsk coal basin's Balakhta coal deposit into mid-temperature coke with generation of heat and electricity is proposed. Creation of the complex will provide increase of rate of return from 1 ton of brown coal, stimulate economic growth of the region and strengthen competitive positions of domestic ferrous metallurgy in local and international markets via decrease of operation costs.

Keywords: coal, energy-technology conversion, coke, heat, electricity.

© Михалев И. О., Исламов С. Р., 2010

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ВОЛЛАСТОНИТА ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ОТ СЖИГАНИЯ БУРЫХ УГЛЕЙ КАТЭКА*

Рассмотрен новый способ получения волластонита путем направленной кристаллизации рентгеноаморфного пеносиликата, полученного охлаждением в воде обезжелезенной силикатной части расплава золошлаков от сжигания бурых углей.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, восстановление, плавление, кристаллизация.

Авторами были проведены исследования по разработке научно-практических основ и реализации способа получения синтетического волластонита из золошлаковых отходов (ЗШО) от сжигания бурых углей КАТЭКа путем самораспространяющейся кристаллизации в виде фронта тепловой волны метастабильного пеносиликата – продукта охлаждения силикатной части расплава в режиме термоудара после глубокого восстановительного плавления ЗШО и отделения металлической части расплава.

Основными технологическими достоинствами волластонита являются высокие диэлектрические и физико-механические параметры, небольшая величина температурного коэффициента линейного расширения, позволяющие создавать на его основе огнеупорные конструкционные и теплоизоляционные материалы.

В настоящее время волластонит получают гидротермальным методом и методом твердофазного спекания при высоких температурах, а также методом обогащения природного волластонита с использованием дробления, измельчения, помола и т. д. Однако существенной проблемой остается получение волластонита без примесей переходных металлов (соединений железа, марганца, титана), которые ограничивают его функциональные возможности.

Одним из перспективных направлений в создании синтетического волластонита без вредных примесей является использование для этой цели рентгеноаморфного пеносиликата [1]. А вовлечение в переработку ЗШО от сжигания бурых углей КАТЭКа для производства multifunctional продукции позволит разрешить другую актуальную проблему – снизить негативное воздействие отходов теплоэнергетики на окружающую среду.

Для решения поставленной задачи пробы ЗШО от сжигания бурых углей отбирались из циклонов ТЭЦ-1 (Красноярск). Химический состав проб, мас. %, таков: SiO_2 – 56,59; Al_2O_3 – 8,21; Fe_2O_3 – 6,12; CaO – 20,53; MgO – 3,83; SrO – 0,69; SO_3 – 1,67; ZrO_2 – 0,04; K_2O – 0,488; MnO – 0,195; TiO_2 – 0,452; P_2O_5 – 0,095; BaO – 1,09. Результаты электронно-микроскопических исследований свидетельствуют о существовании в золе сферических частиц разной окраски от желтого до черного цвета (в зависимости от содержания в них железа) (рис. 1). Размеры частиц составляют от 5 до 40 мкм. По результатам РФА уверенно

идентифицируются оксиды кремния, кальция, магния, гидроокись железа, феррит кальция.

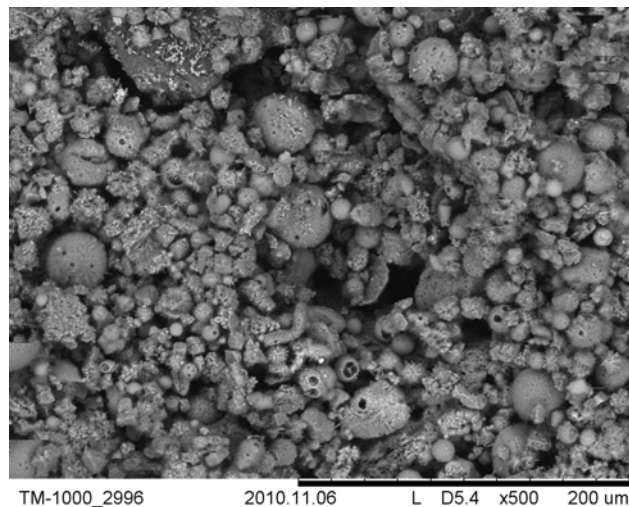


Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок пробы ЗШО

Для получения заданной структуры волластонита необходимо обеспечить соотношение M_k концентраций C в силикатной части расплава кислых окислов к основным в пределах от 1,04...1,08, которое достигается подшихтовкой кальций- либо кремнийсодержащими добавками (в зависимости от конкретного состава ЗШО) в процессе глубокого восстановительного плавления шихты с разделением расплава:

$$M_k = \frac{(0,97 \cdot C_{\text{SiO}_2} + 0,03 \cdot C_{\text{Al}_2\text{O}_3})}{(0,98 \cdot C_{\text{CaO}} + 0,02 \cdot C_{\text{MgO}})} = 1,04...1,08.$$

Химический состав силикатной части расплава, мас. %, после глубокого восстановительного плавления и удаления сплава на основе железа будет следующим: SiO_2 – 48,03; Al_2O_3 – 3,27; Fe_2O_3 не обнаружен; CaO – 45,8; MgO – 2,3; SO_3 – 0,47; ZrO_2 – 0,02; K_2O – 0,09; MnO не обнаружен; TiO_2 не обнаружен; P_2O_5 – 0,02. Отметим, что обезжелезенная силикатная часть расплава охлаждалась в воде в режиме термоудара с образованием рентгеноаморфного пористого пеносиликата (рис. 2).

Необходимым условием поризации расплава является наличие в нем равномерно распределенных карбидов

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект № 3 от 7 апреля 2010 г.).

металлов (SiC , $\text{SiC}-\text{CaC}_2$), образующихся на последнем этапе глубокого восстановительного плавления ЗШО и способных взаимодействовать с водой с образованием газообразных продуктов. Причиной поризации материала является взаимодействие паров воды с карбидами кремния (и, возможно, кальция) с образованием газообразных продуктов:



Равновесие этой реакции при температуре выше температуры стеклования ($1\,000\text{ }^\circ\text{C}$) практически целиком сдвинуто вправо – в сторону образования CO и H_2 , о чем свидетельствует отрицательное высокое значение изменения энергии Гиббса ($\Delta G^\circ_{1\,000\text{ }^\circ\text{C}} = -313,3\text{ кДж}$) и высокое значение константы равновесия ($K = 7,2 \cdot 10^{12}$). Поризация идет до момента отвердевания силиката.



Рис. 2. Внешний вид пеносиликата
(размер гранул от 2 до 20 мм)

Рентгенограммы и ИК-спектры свидетельствуют о рентгеноаморфном состоянии полученного пористого пеносиликата.



a



b



g



z

Рис. 3. Цифровое изображение стадий зарождения и распространения фронта тепловой волны самораспространяющейся кристаллизации (обозначения см. в тексте)

При нагревании образца из пеносиликата происходит переход из аморфного состояния в кристаллическое, который сопровождается выделением энергии в виде фронта тепловой волны (рис. 3).

В верхней части образца (рис. 3, *a*) появляется зона локального перегрева, связанная с образованием зародышей кристаллизации (горячих центров). Выделяемое в процессе кристаллизации тепло приводит к увеличению количества зародышей кристаллизации, о чем свидетельствует увеличение яркости фронта тепловой волны (рис. 3, *b*, *в*, *г*). Скорость распространения фронта тепловой волны кристаллизации – $1,2\text{ мм/с}$. По результатам РФА идентифицируется фаза волластонита.

Сравнительные данные частот колебаний цепей $\{(\text{SiO}_3)_n\}_\infty$ природного β -волластонита и синтетического волластонита (волластонитовой керамики), полученного термообработкой в режиме самораспространяющейся кристаллизации рентгеноаморфного пеносиликата на основе ЗШО от сжигания углей КАТЭКа, показывают идентичность параметров исследуемого и природного волластонита (рис. 4). Кроме того, синтетический волластонит имеет мелкозернистую структуру в виде призм, пластинок и иголок с размерами $0,5 \dots 5,0\text{ мкм}$, что обуславливает высокую механическую прочность изделий из волластонита.

Полученная волластонитовая керамика обладает следующими свойствами:

- плотность – $1\,500 \dots 2\,200\text{ кг/м}^3$;
- теплопроводность – $1,0\text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$;
- прочность на сжатие – $200 \dots 230\text{ МПа}$;
- предел прочности при изгибе – $150 \dots 180\text{ МПа}$;
- температурный коэффициент линейного расширения – $(5 \dots 7) \cdot 10^{-6}\text{ град}^{-1}$;

– диэлектрическая проницаемость – $7 \dots 13$;
– диэлектрические потери $\tan \delta$ при $f = 1$ МГц при 20°C – $7 \cdot 10^{-4}$;

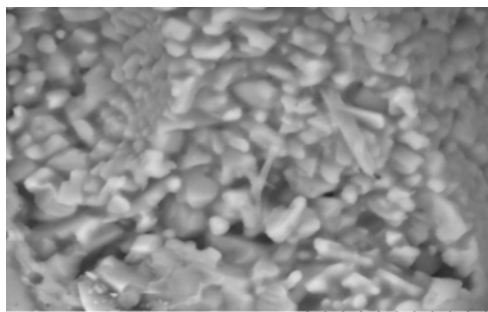


Рис. 4. Электронно-микроскопический снимок синтетического волластонита, полученного путем самораспространяющейся кристаллизации пеносиликата на основе ЗШО от сжигания бурых углей КАТЭКа

– электрическая прочность – $30 \dots 50$ кВ/мм;
– материал не содержит вредных примесей железа, марганца, титана;
– не смачивается расплавом цветных металлов;
– хорошо обрабатывается резанием.

Расчет экономической эффективности переработки 100 тыс. т ЗШО в год показал, что рентабельность производства составляет 34,9 %, срок окупаемости капитальных затрат – 11 месяцев.

Библиографическая ссылка

1. Фундаментальные основы комплексной переработки углей КАТЭКа для получения энергии, синтез-газа и новых материалов с заданными свойствами / В. Ф. Шабанов, Б. Н. Кузнецов, М. Л. Щипко и др. Новосибирск : изд-во Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, 2005.

I. V. Pavlov, V. F. Pavlov, V. F. Shabanov

ACADEMIC AND RESEARCH PRINCIPLES OF OBTAINING OF SYNTHETICAL WOLLASTONITE PRODUCED OF KATEK BROWN COALS REFUSE BURNOUT

In the article we consider a new method of obtaining wollastonite by means of directed crystallization of X-ray amorphous foamed silicate obtained by cooling in water the iron-free silicate moiety of a melt of brown coals refuse burnout.

Keywords: fly ash wastes, reduction, melting, self-propagating crystallization.

© Павлов И. В., Павлов В. Ф., Шабанов В. Ф., 2010

УДК 621.365.41

А. А. Темеров, В. Н. Тимофеев, Д. А. Михайлов

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКСЕРОВ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ*

Рассмотрены причины низкой эксплуатационной надежности нагревательных элементов миксеров сопротивления для приготовления сплавов алюминия. На основе статистических данных и результатов численного, физического и натурного экспериментов предложены конструктивные решения для повышения эксплуатационной надежности и энергетической эффективности систем электронагрева.

Ключевые слова: миксер сопротивления, система электронагрева, электронагреватель сопротивления, конечно-элементная математическая модель, температурное поле, тепловая мощность электронагревателя.

В мировой алюминиевой промышленности Россия является одним из крупнейших потребителей новых технологий и нового оборудования для производства сплавов на основе алюминия, которые занимают лидирующее положение среди конструкционных материалов и

имеют хорошие перспективы на будущее, в связи с чем к технологическим возможностям электрических миксеров и дополнительного оборудования, предназначенного для производства качественного заготовительного алюминиевого литья, предъявляются все более высокие требова-

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект № 72-КФ «Разработка и организация производства высоконадежных электронагревательных систем для цветной металлургии»).

ния. Одним из основных узлов, определяющих качество алюминиевого сплава, а также надежность и энергетическую эффективность электрических миксеров сопротивления, является система электронагрева. В качестве основной задачи при разработке систем электронагрева новых конструкций для миксеров сопротивления выступает повышение надежности и энергетической эффективности наиболее ответственных элементов – электронагревателей сопротивления.

На большинстве отечественных предприятий электронагреватели сопротивления представлены подвесными ленточными и стержневыми нагревательными элементами, помещенными в защитные трубы или располагающимися над расплавом открыто. В нагревательных элементах такой конструкции в качестве токопроводящего элемента используется ленточный провод из высокоомных сплавов, например нихрома (Х20Н80, ХН70Ю, Х25Н20 и др.) [1].

В процессе эксплуатации подвесные ленточные нагревательные элементы подвергаются воздействию брызг алюминиевого сплава на этапе рафинирования расплава, в результате чего на них образуется слой оксидных отложений. В дальнейшем тепловое сопротивление между поверхностью расплава и нагревательными элементами возрастает, что ведет к повышению скорости коррозии нагревательных элементов, росту температуры и значительному снижению срока их эксплуатации.

Использование дорогостоящих нагревательных элементов на большинстве предприятий объединенной компании «РУСАЛ» практически не изменило ситуацию с выходом из строя электронагревателей.

На сегодняшний день в крупнотоннажных миксерах применяются электронагреватели, состоящие из подвесных стержневых нагревательных элементов и защитных труб. Наиболее распространенными являются трубчатые электронагреватели шведской фирмы Kanthal (рис. 1), состоящие из нагревательных элементов Kanthal Tubothal и защитных труб Kanthal APM (Fe – 22 %, Al – 6 %). Основным недостатком таких электронагревателей являются низкая механическая прочность и склонность к насыщению элементами материала трубы (N, K, Na, Cl, F, Cu, Ni, Mn и Mg). Анализ причин выхода их из строя установил, что защитные трубы наиболее склонны к газовой коррозии при поддержании рабочей температуры в диапазоне 850...900 °С, а к механической деформации – в

период перехода материала защитных труб через границу хладотвердости 850...870 °С [2; 3].

Одним из наиболее перспективных путей повышения надежности электронагревателя является применение в качестве материала проводников подвесных стержневых нагревательных элементов многокомпонентных сплавов, содержащих в своем составе Y, La, Ce, Zr, Ti, Si (GS23-5 и др.) [4; 5]. Повышенная химическая стойкость таких материалов к воздействию агрессивной газовой среды миксера обусловлена образованием пленки оксида алюминия Al_2O_3 на поверхности проводника в процессе эксплуатации при температуре более 780 °С. Эта пленка замедляет развитие окислительных процессов в теле проводника, и его поперечное сечение, в отличие от проводника из нихрома, остается практически неизменным.

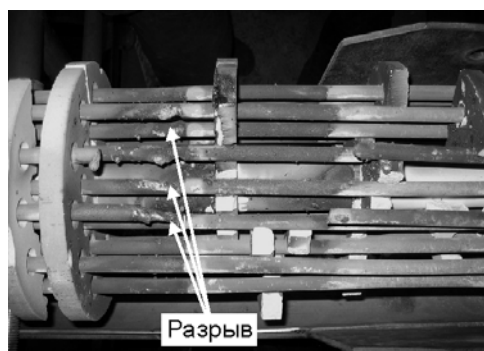
Описанное выше свойство многокомпонентных сплавов было использовано при создании конструкции нагревательного элемента с повышенной степенью надежности, разработанного сотрудниками ООО «НПЦ магнитной гидродинамики» для миксера сопротивления САМП-100 (рис. 2). Высокая эксплуатационная надежность этого элемента была подтверждена в ходе эксплуатации опытно-промышленного образца, установленного на миксере САМП-100 (агрегат № 10 ЛО-3 ООО «КрАЗ»).

Анализ условий эксплуатации электронагревателей на ООО «РУСАЛ–Красноярск», ООО «РУСАЛ–Саяногорск» и ООО «РУСАЛ–Новокузнецк» с 2008 по 2010 гг. показал, что применяемые для защиты нагревательных элементов металлические трубы в наибольшей мере склонны к деформации и зарастанию при приготовлении алюминиевых сплавов с использованием флюсов.

С целью повышения газовой и коррозионной стойкости, а также для решения задачи повышения энергетической эффективности системы электронагрева требовалось:

- снизить температуру на нагревательных элементах;
- повысить долю мощности, излучаемой на зеркало расплава.

Наиболее подходящей конструкцией электронагревателя, удовлетворяющей предъявляемым требованиям, является конструкция электронагревателя замурованного типа, нагревательные элементы которого отделены от внутритрубного пространства защитными экранами или располагаются в огнеупорном электроизоляционном блоке. Преимуществом такой конструкции, по сравнению с электронагревателем, оснащенным открытыми



а



б

Рис. 1. Эксплуатационные дефекты после шести месяцев эксплуатации:
а – нагревательного элемента Kanthal Tubothal; б – защитной трубы Kanthal APM

нагревательными элементами, является увеличение площади активно излучающей поверхности на 30...40 %. Вместе с этим применение неметаллических материалов при изготовлении огнеупорного электроизоляционного блока позволяет снизить интенсивность зашлаковывания излучающей поверхности, в результате чего тепловое сопротивление между зеркалом расплава и нагревательными элементами снижается [6; 7].

С учетом всех этих факторов была разработана и исследована конструкция опытно-промышленного образца электронагревателя с повышенной степенью надежности для миксера сопротивления, получившая название «светящийся свод» (рис. 3). Для определения наиболее оптимальных соотношений характерных параметров электронагревателя конструкции «светящийся свод» была разработана конечно-элементная математическая модель электронагревателя с привлечением современных компьютерных средств и пакетов программ (SolidWorks, «Компас V9», ANSYS ICEM, ANSYS Multiphysics, ANSYS CFX).

Данная математическая модель позволяет анализировать нестационарное тепловое поле электронагревателя с изменением его основных параметров: $l_{н.э}$ – длины радиационного нагревательного элемента; d_n – диаметра радиационного нагревательного элемента; S_n – расстояния между пазами под нагревательные элементы в теплопроводных блоках сводового электронагревателя; $S_{с.б}$ – толщины теплопроводных блоков сводового электронагревателя; $S_{т.с}$ – толщины теплопроводного слоя сводового электронагревателя.

Решение тепловой задачи сводится к нахождению температурного поля расплава, ограждающей футеровки и системы нагрева в каждый момент времени t [8].

В области электронагревателя теплообмен учитывается уравнением Фурье с внутренними источниками теплоты:

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_v, \quad (1)$$

где q_v – объемная мощность тепловыделения, Вт/м³; c – удельная теплоемкость, Дж/(кг · °C); t – время, с; ρ – плотность материала, кг/м³; T – температура, °C; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °C).

В области футеровки теплообмен происходит за счет теплопроводности и учитывается уравнением (1) без последнего члена.

Теплообмен в воздушном внутрипечном пространстве между расплавом, футеровкой и электронагревателем осуществляется преимущественно за счет излучения и учитывается уравнением Стефана–Больцмана:

$$q = \varepsilon_r c_0 (T_n^4 - T_{p.r}^4), \quad (2)$$

где ε_r – степень черноты расплава; c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м² · К⁴); $T_{p.r}$ – температура на поверхности расплава, °C; T_n – температура на поверхности электронагревателя, °C.

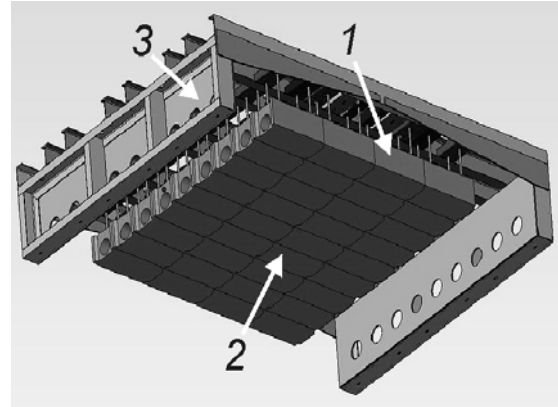


Рис. 3. Основные узлы электронагревателя с повышенной степенью надежности: 1 – теплопроводный слой; 2 – излучающая поверхность; 3 – каркас

Однозначное решение задачи определяется заданием начальных и граничных условий в начальный момент времени t_0 :

$$T = f_0(x, y, z, T), \quad (3)$$

$$q_{vn} = \alpha \cdot (T_{пов} - T_{vn}), \quad (4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · °C); T_{vn} – температура окружающей среды, °C; $T_{пов}$ – температура поверхности миксера, °C.

Коэффициент теплоотдачи α определяется по выражению

$$\alpha = a_0 + a_1 + (T_{пов} - 30) - a_2(T_{пов} - 30)^2 + a_3(T_{пов} - 30)^3, \quad (5)$$

где $a_0, \dots, a_3$ – постоянные коэффициенты, зависящие от вида теплоотдающей поверхности.

Достоверность разработанной математической модели была оценена с помощью физической модели миксе-

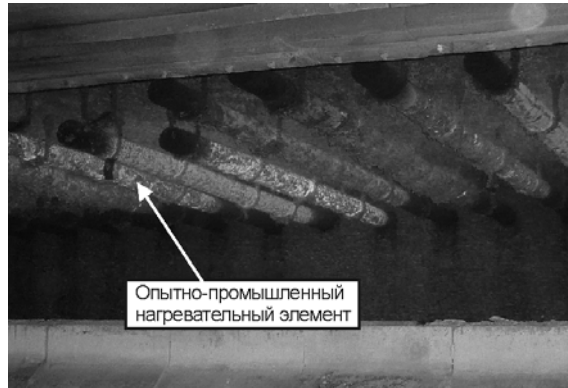
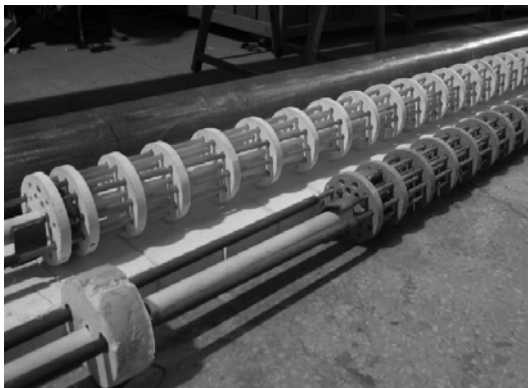


Рис. 2. Опытно-промышленный образец нагревательного элемента с повышенной степенью надежности: а – в процессе лабораторных испытаний; б – при эксплуатации на миксере САМП-100

ра, оснащенного электронагревателем с повышенной степенью надежности, выполненной в масштабе 1:10. Сравнительный анализ экспериментального и расчетного распределений температуры в теплопроводном слое электронагревателя конструкции «светящийся свод», полученных на физической и математической моделях, выявил их высокую степень совпадения. Относительная погрешность измерений $\varepsilon_{\text{рм}}$ не превышала 9 % при доверительной вероятности $P = 95\%$ (рис. 4).

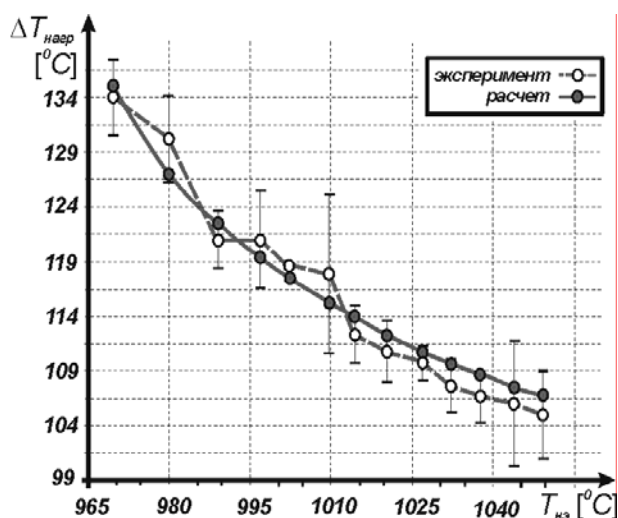


Рис. 4. Изменение температурного перепада в теплопроводном слое сводового электронагревателя физической модели $\Delta T_{\text{нагр}}$ от температуры нагревательного элемента $T_{\text{нэ}}$

В ходе проведения исследований с помощью математической модели были получены зависимости температурного перепада $\Delta T_{\text{нагр}}$ и температуры излучающей по-

верхности $T_{\text{и.п}}$ от температуры нагревательных элементов $T_{\text{нэ}}$ (рис. 5). Анализ этих зависимостей позволил установить, что при выполнении теплопроводного слоя из материала на основе корундокарбидокремниевое бетона ККБ-70 с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{\text{тс}} = 4 \dots 7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ [9] в сочетании с увеличением эффективной площади излучающей поверхности среднеинтегральная температура излучающей поверхности может быть повышена (рис. 5, а), а температурный перепад между поверхностью расплава и излучающей поверхностью свода $\Delta T_{\text{пов.распл}}$ уменьшен на 80 °C (рис. 5, б). В результате тепловая мощность, излучаемая на зеркало металла, в зависимости от температурного перепада между излучающей поверхностью и расплавом, возрастет в среднем 1,5–2 раза.

Кроме того, для подтверждения адекватности разработанной математической модели была проведена сравнительная оценка данных, полученных с помощью математической модели, имитирующей процесс нагрева электронагревателя конструкции «светящийся свод» миксера САМ-5, и данных, полученных в ходе натурного эксперимента на опытно-промышленном образце электронагревателя в период с 19 по 28 сентября 2007 г. Результаты численного и натурного экспериментов приведены в таблице.

В результате проведенных исследований была подтверждена высокая эксплуатационная надежность нагревательных элементов с повышенной степенью надежности конструкции ООО «НПЦ магнитной гидродинамики». Также было установлено, что при использовании конструкции электронагревателя сопротивления с развитой излучающей поверхностью, защитный блок которого выполнен из высокотеплопроводного огнеупорного бетона, а токопроводящие стержни нагревательных элементов – из многокомпонентных сплавов на основе фехра-

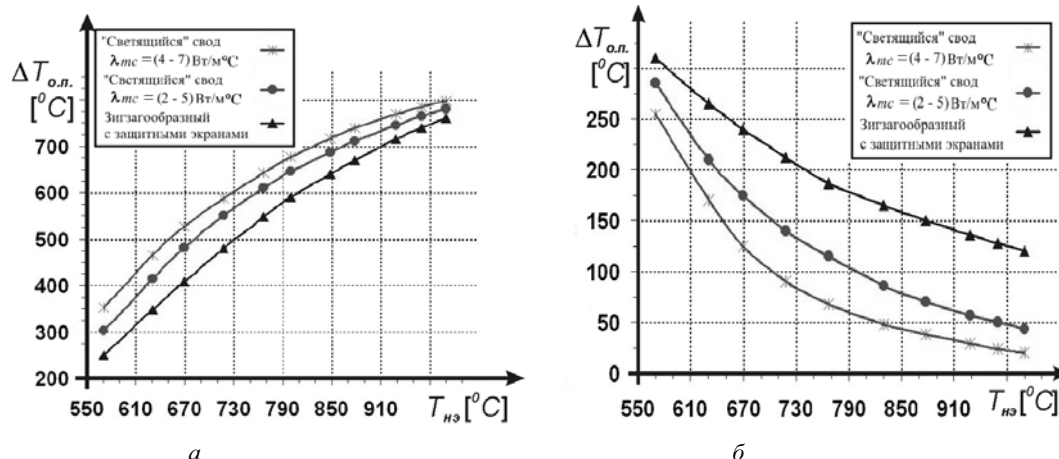


Рис. 5. Зависимости температуры отражающей поверхности $T_{\text{ол}}$ (а) и температурного перепада $\Delta T_{\text{нагр}}$ (б) от температуры нагревательного элемента $T_{\text{нэ}}$

Температура на излучающей поверхности электронагревателя

№ термопары	Измеренная температура, °C	Рассчитанная температура, °C	Относительная погрешность ε , %
1	778,3	813,45	4,317
2	845,7	822,62	2,802
3	846,7	901,88	6,122
4	837,3	827,21	1,224
5	784,7	741,54	5,816
6	926,0	967,38	4,278
7	930,7	882,93	5,407

лей, наблюдается значительное повышение срока службы и доли мощности, излучаемой на зеркало расплава.

Библиографические ссылки

1. Белавин Ю. А., Евстигнеев М. А., Чернявский А. Н. Трубчатые электрические нагреватели и установки с их применением. М. : Энергоатомиздат, 1989.
2. Resistance Heating Alloys and System for Industrial Furnaces : cat. 1-A-5B Kanthal / Kanthal AB. Hallstahammar, Sweden, 2001.
3. Investigation of Kanthal Tubothermal : investigation rep. № E07032 / Kanthal AB. Hallstahammar, Sweden, 2007.
4. Гутман М. Б., Плуткин А. Б., Шумков Ю. В. Срок службы нагревательных элементов из железо-хромалюминиевых сплавов сопротивления в воздушной атмосфере // Труды ВНИИ ЭТО : сб. науч. тр. № 11. М. : Энергоиздат, 1981. С. 3–14.
5. Пелевин А. Г., Фролов В. Ф., Тирфоненков Л. П. Новая конструкция нагревателя защищенного типа // Алуминий Сибири–2008 : сб. науч. ст. / ООО «Версо». Красноярск, 2008. С. 281–283.
6. Некоторые пути повышения тепловой эффективности алюминиевых печей-копильников / Ю. В. Видин, А. А. Темеров, А. К. Федюкович и др. // Теплообмен и гидродинамика : сб. науч. тр. / Краснояр. политехн. ин-т. № 4. Красноярск, 1976. С. 44–48.
7. Пат. 38915 Российская Федерация, МПК⁷ F 27 D 1/02. Электрический миксер для приготовления алюминия и его сплавов / А. А. Темеров, В. Н. Тимофеев, П. А. Хоменков, А. В. Богданчиков. № 2004106958/20 ; заявл. 09.03.2004 ; опубл. 10.07.2004, Бюл. № 19.
8. Электронагреватель нового типа для миксера сопротивления / А. А. Темеров, Д. А. Михайлов, В. В. Гаврилов // Молодежь и наука – третье тысячелетие : сб. материалов Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 2005. С. 424–427.
9. Огнеупорные массы, бетоны и изделия для футеровок агрегатов плавки алюминия / В. И. Сизов, А. М. Горюховский, Е. В. Беклемишев и др. // Алуминий Сибири–2008 : сб. науч. ст. / ООО «Версо». Красноярск, 2008. С. 335–338.

A. A. Temerov, V. N. Timofeev, D. A. Mikhaylov

RELIABILITY GROWTH AND ENERGETIC EFFICIENCY OF ELECTRIC HEATING SYSTEMS OF ELECTRIC HOLDING FURNACES FOR ALUMINIUM ALLOYS

In the article the authors consider reasons of low operate reliability of heating elements of resistance holding furnaces for preparation of aluminium alloys. Basing on statistical data and results of numerical, physical and natural experiments the authors offer constructive solutions for operation reliability growth and energetic efficiency of electric heating systems.

Keywords: resistance holding furnace, electric heating system, resistance electroheater, finite element mathematical model, temperature field, thermal power of electroheater.

© Темеров А. А., Тимофеев В. Н., Михайлов Д. А., 2010

А. А. Темеров, В. Н. Тимофеев, Д. А. Михайлов

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КОМБИНИРОВАННОГО НАГРЕВА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКСЕРАХ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ*

Рассматриваются принципы создания и управления комбинированным нагревом алюминиевого расплава в электрических миксерах с расположением электронагревателей под сводом и в подине. На основе результатов численного и физического экспериментов определены и подтверждены зависимости температурного перепада и распределения неметаллических включений в объеме расплава на стадиях нагрева, выдержки и литья.

Ключевые слова: температурный перепад, неметаллические включения, миксер с комбинированным нагревом, математическая модель, алгоритм управления системой нагрева.

Анализ отечественных и зарубежных публикаций, посвященных проблеме повышения качества алюминиевых деформируемых сплавов показывает, что в последнее время на большинстве отечественных и зарубежных предприятий, выпускающих листовой алюминиевый прокат («Алкоа СМЗ», «Уральская фольга» и др.), наблюдается рост потребления высококачественных сплавов на основе алюминия. Изучение конъюнктуры рынка тонколистового алюминиевого проката позволяет говорить о том, что при дальнейшей модернизации заводов необходимо ориентироваться на продолжающееся уменьшение толщины холоднокатаного листа. Применяемые на предприятиях методы рафинирования и приготовления алюминиевых сплавов не обеспечивают требуемого уровня чистоты металла, геометрических размеров, качества структуры и других показателей слитков. Поэтому отечественные предприятия, производящие алюминиевый прокат, вынуждены заняться модернизацией существующего и созданием нового оборудования для плавления-литейных агрегатов.

Основной единицей плавления-литейного агрегата, в наибольшей мере определяющей качество производимого алюминиевого сплава, является электрический миксер. Технология приготовления расплава в электрических миксерах должна обеспечивать заданную производительность и качество алюминиевого сплава, которое характеризуется такими критериями, как температурный перепад и содержание неметаллических включений. Применение тех или иных систем нагрева определяет технологию приготовления расплава в электрическом миксере.

На сегодняшний день этих целей используются электрические миксеры с расположением излучающих электронагревателей под сводом и в подине. Увеличение скорости нагрева металла в электрических миксерах с электронагревателями под сводом приводит к перегреву поверхностных слоев металла и возникновению температурного перепада по высоте расплава 70...90 °С/м. Интенсификация тепломассообменных процессов в ванне электрических миксеров с электронагревателями в подине является причиной значительного загрязнения метал-

ла неметаллическими включениями (например, окисью алюминия $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) при взаимодействии жидкого алюминия со шлаком и атмосферой [1; 2]. В связи с этим возникает задача дифференцированного управления интенсивностью тепломассообмена в ванне для понижения содержания неметаллических включений и температурного перепада в расплаве.

Содержание газовых и неметаллических включений в расплаве на стадии нагрева зависит от таких факторов, как температура поверхности расплава (не более 750 °С), интенсивность движения масс металла и время его приготовления. На стадии выдержки требуется снижение содержания неметаллических включений в верхней части ванны, для чего необходимо производить отстаивание расплава. На стадии литья качество расплава определяется стабильностью температур перепада и содержанием неметаллических включений в литье, ввиду чего температурный перепад по высоте расплава должен составлять не более 8 °С/м, температуру расплава необходимо поддерживать на уровне 695...750 °С, а неметаллические включения должны быть сосредоточены у подины [3].

Проведенный анализ условий тепломассообмена в ванне электрических миксеров показал, что одним из наиболее перспективных способов нагрева расплава, позволяющих эффективно управлять температурным перепадом и распределением неметаллических включений в ванне, является комбинированный нагрев расплава [4]. Такой способ предполагает косвенный и прямой нагрев верхних и нижних слоев расплава при расположении электронагревателей 4 и 5 под сводом и в подине миксера (рис. 1) [5].

С учетом требований технологии приготовления алюминиевых сплавов авторами была разработана циклограмма работы миксера с комбинированным нагревом (рис. 2). В таком миксере на первой стадии приготовления расплава нагрев осуществляется с помощью подового электронагревателя (режим работы 1), за счет чего тепломассообменные процессы в ванне максимально интенсифицируются и происходит выравнивание температуры по объему расплава. На стадии выдержки используется сводовой электронагреватель (режим работы 2) и

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (проект № 72-КФ «Разработка и организация производства высоконадежных электронагревательных систем для цветной металлургии»).

основной тепловой поток направлен на зеркало расплава, что способствует выравниванию температуры и снижению скорости движения масс расплава. В результате этого неметаллические включения начинают оседать на подину и их содержание в верхней части ванны снижается. На стадии литья тепловые потоки направляются в расплав от подового и сводового электронагревателей (режим работы 3), благодаря чему температурный перепад и содержание неметаллических включений в объеме снижаются до минимума.

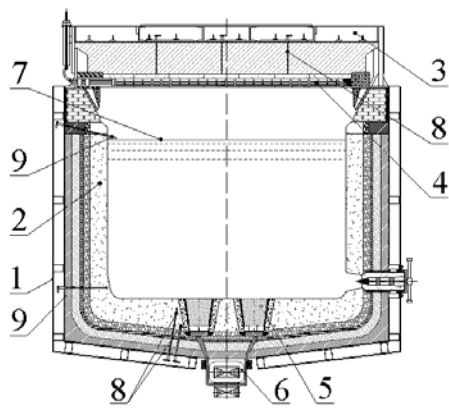


Рис. 1. Миксер с комбинированным нагревом: 1 – каркас; 2 – футеровка; 3 – свод; 4 и 5 – электронагреватели; 6 – источник питания; 7 – расплав; 8 и 9 – термопары

Для взаимосвязанного анализа электромагнитных, гидродинамических и тепловых процессов, протекающих в миксере с комбинированным нагревом при приготовлении алюминиевого сплава на стадиях нагрева, выдержки и литья, в программном комплексе ANSYS Multiphysics была разработана математическая модель системы «миксер с комбинированным нагревом – расплав» [7].

Особенностью этой математической модели является учет влияния сводового и подового электронагревателей на состояние теплового поля миксера в режимах работы системы нагрева 1, 2 и 3 с использованием совокупности граничных условий. Граничные условия, которые обеспечивают тепловой баланс между расплавом и миксером при расположении электронагревателей под

сводом и в подине, выведены на основании уравнений, представленных в [8], и могут быть записаны в виде

$$-\lambda_r \cdot \left(\frac{\partial T_r}{\partial x} + \frac{\partial T_r}{\partial y} + \frac{\partial T_r}{\partial z} \right) \Big|_{x,y,z} = -\lambda_{o,p} \cdot \left(\frac{\partial T_{o,p}}{\partial x} + \frac{\partial T_{o,p}}{\partial y} + \frac{\partial T_{o,p}}{\partial z} \right) \Big|_{x,y,z}, \quad (1)$$

$$-\lambda_r \cdot \left(\frac{\partial T_r}{\partial x} + \frac{\partial T_r}{\partial y} + \frac{\partial T_r}{\partial z} \right) \Big|_{x,y,z} = -\lambda_v \cdot \left(\frac{\partial T_v}{\partial x} + \frac{\partial T_v}{\partial y} + \frac{\partial T_v}{\partial z} \right) \Big|_{x,y,z} + \varepsilon_r c_0 (T_{s,n}^4 - T_r^4), \quad (2)$$

где T_r – температура расплава, °C; T_v – температура воздуха над расплавом, °C; $T_{s,n}$ – температура поверхности сводового электронагревателя, °C; λ_r – теплопроводность расплава, Вт/(м · °C); λ_v – теплопроводность воздуха над расплавом, Вт/(м · °C); $\lambda_{o,p}$ – теплопроводность контактирующего с расплавом материала ограждающей поверхности, Вт/(м · °C); ε_r – степень черноты поверхности расплава; c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела. Граничное условие (1) определяет температурное поле на границах «футеровка – расплав» и «подовый электронагреватель – расплав» при теплообмене между расплавом и стенками ванны за счет излучения и теплопроводности, граничное условие (2) – температурное поле на границе «сводовый электронагреватель – расплав» при теплообмене между поверхностью расплава и излучающей поверхностью сводового электронагревателя за счет теплопроводности.

Ввиду того что производительность миксера и качество расплава зависят от режимов работы системы нагрева, необходимо найти соотношения мощностей сводового и подового электронагревателей P_1/P_2 на трех стадиях приготовления расплава с целью достижения его наилучшего качества, но без снижения производительности миксера. Так как производительность миксера определяется длительностью стадии нагрева расплава, а качество приготовляемого сплава – содержанием неметаллических включений в литье и стабильностью температурного перепада, то целевой функцией на стадии нагрева является

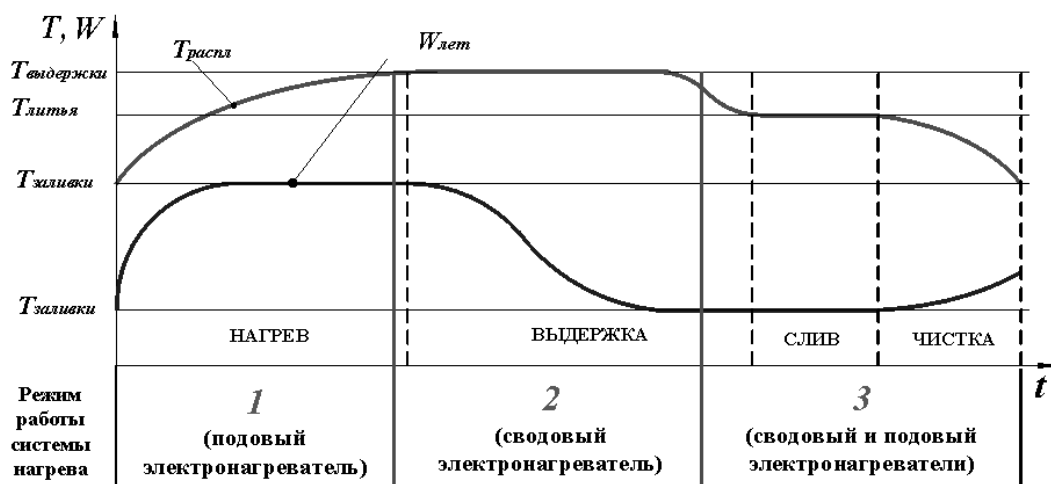


Рис. 2. Циклограмма работы миксера с комбинированным нагревом на режимах работы системы нагрева 1, 2 и 3

время нагрева расплава $t_{\text{нагр}}(P_1/P_2) \rightarrow \min$, целевой функцией на стадии выдержки – содержание неметаллических включений в верхней части ванны от их общего количества $W_{\text{верх}}(P_1/P_2) \rightarrow \min$, а целевой функцией на стадии литья – температурный перепад в расплаве и содержание неметаллических включений в верхней части ванны от их общего количества $W_{\text{верх}}, \Delta T_{\text{распл}}(P_1/P_2) \rightarrow \min$.

С помощью математической модели авторами были получены зависимости изменения времени нагрева $t_{\text{нагр}}$, содержания неметаллических включений в верхней части ванны от их общего количества $W_{\text{верх}}$ и температурного перепада в слоях расплава ΔT от соотношения мощностей P_1/P_2 , которое изменялось в диапазоне 0/1...1/0 с шагом 0,2 (рис. 3). Наиболее быстрое повышение температуры расплава на стадии нагрева обеспечивается при соотношении мощностей 0/1 за счет интенсификации тепломассообменных процессов в ванне при нагреве расплава снизу. Содержание неметаллических включений в верхней части ванны от общего их количества $W_{\text{верх}}$, определяющее качество расплава на стадии выдержки, достигает своего наименьшего значения при соотношении мощностей, равном 1/0, ввиду минимизации конвективного движения металла при нагреве расплава сверху. На стадии литья минимум температурного перепада $\Delta T_{\text{распл}}$, а также квазiminимум содержания неметаллических включений в верхней части ванны от их общего количества $W_{\text{верх}}$ наблюдаются при нагреве расплава нижним и верхним электронагревателями при соотношении мощностей 0,4/0,6. Для достижения наибольшей производительности и наилучшего качества расплава необходимо, чтобы соотношение мощностей P_1/P_2 на стадиях нагрева, выдержки и литья (режимах работы 1, 2 и 3) составляло соответственно 0/1, 1/0 и 0,4/0,6. Результаты поиска значений $t_{\text{нагр}}$, $W_{\text{верх}}$ и $\Delta T_{\text{распл}}$ приведены в таблице.

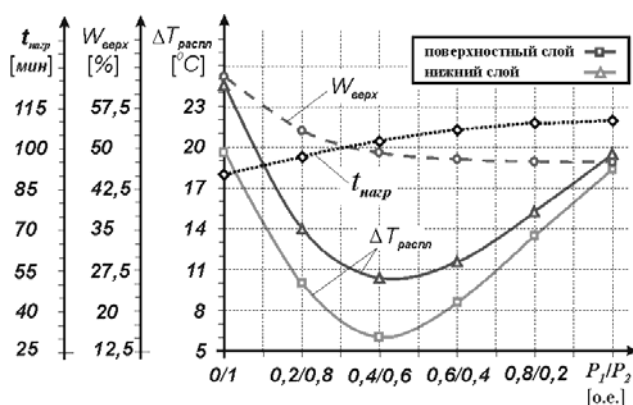


Рис. 3. Изменение $t_{\text{нагр}}$, ΔT и $W_{\text{верх}}$ при различных соотношениях P_1/P_2

В дальнейшем был определен и оценен характер изменения температурного поля расплава и распределе-

ния неметаллических включений в ванне миксера на стадиях нагрева, выдержки и литья (режимов работы системы нагрева 1, 2 и 3) для найденных соотношений мощностей электронагревателей P_1/P_2 . Анализ гидродинамического и теплового полей расплава показал, что на стадии нагрева (режим работы 1) максимум скоростей V_{max} наблюдается в непосредственной близости от поверхности резистивных блоков и на уровне летки скорость не превышает 0,38 м/с, а температурный перепад по высоте расплава ΔT_h составляет 32 °С (характерный шаг по высоте 0,23 м) (рис. 4). На стадии выдержки (режим работы 2) поле скоростей стабилизируется по всему объему, максимум скоростей V_{max} снижается в среднем до 0,001 м/с и имеет место локальный перегрев поверхностных слоев, по причине чего температурный перепад по высоте расплава ΔT_h достигает максимума, равного 65 °С. На стадии литья (режим работы 3) поле скоростей устанавливается относительно быстро и имеет локальный максимум только в 1/4 объема расплава и в целом равномерно. При этом максимальный температурный перепад по высоте расплава ΔT_h не превышает 12 °С, что объясняется выравниванием на уровне 0,25 м тепловых потоков, направленных в расплав от подового и сводового электронагревателей.

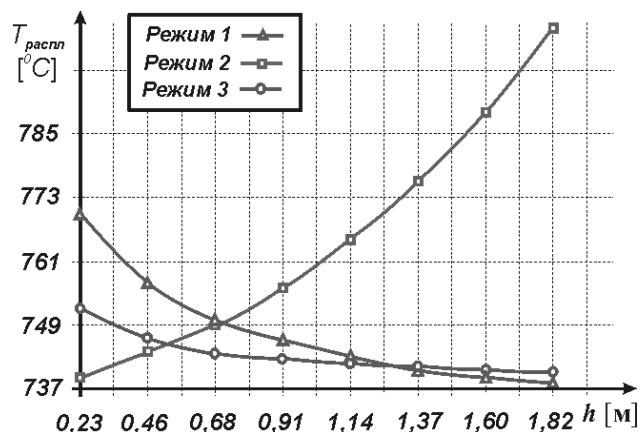


Рис. 4. Изменение температуры расплава T по высоте h в режимах 1, 2 и 3

Сопоставление зависимостей распределения неметаллических включений различного размера в ванне миксера при различных скоростях движения расплава [9] и найденного поля скоростей расплава позволяет определить распределение неметаллических включений по высоте ванны на стадиях нагрева, выдержки и литья. На стадии литья содержание неметаллических включений в верхней части ванны $W_{\text{верх}}$ от их общего количества достигает 63 %, 2/3 от которых составляют включения крупного размера. На стадии выдержки крупные неметаллические включения с относительно высокой плотностью сосредото-

Результаты поиска $t_{\text{нагр}}$, $W_{\text{верх}}$ и $\Delta T_{\text{распл}}$

Стадия приготовления	Оптимизируемые параметры		Целевые функции стадий приготовления расплава		
	P_1 , кВт	P_2 , кВт	$\Delta T_{\text{распл}}$, °С	$W_{\text{верх}}$, %	t , мин
Нагрев	0	60	25	63	90
Выдержка	60	0	20	46,5	110
Литье	24	36	10	49	78

ваются в области подины, а неметаллические включения малого размера образуют устойчивую коллоидную смесь во всем объеме ванны. На стадии литья наблюдается снижение содержания неметаллических включений в верхней части ванны $W_{\text{верх}}$ от их общего количества до 49 %.

Достоверность разработанной математической модели была оценена при сравнении результатов решения гидродинамической и тепловой задач, полученных в ходе математического и физического моделирования (рис. 5). Сравнительный анализ данных распределения температуры по объему расплава в физической и математической моделях выявил их высокую степень совпадения (относительная погрешность измерений $\varepsilon_{\text{рм}}$ не превышала 19 % при доверительной вероятности $P=95\%$).

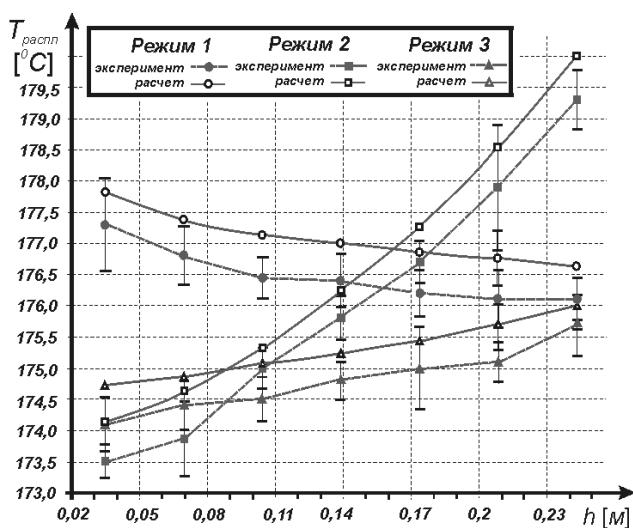


Рис. 5. Зависимости изменения температуры расплава $T_{\text{распл}}$ от высоты ванны h физической модели (характерный шаг по высоте – 3,5 см)

Проведенный анализ зависимостей распределения температурного перепада, неметаллических включений, скорости и интенсивности нагрева расплава при изменении режимов работы системы нагрева на стадиях нагрева, выдержки и литья позволил авторам разработать алгоритм управления режимами работы системы нагрева (рис. 6). В соответствии с этим алгоритмом изменение интенсивности нагрева расплава осуществляется в зависимости от температурного перепада по высоте расплава при изменении отношения мощностей сводового и подового электронагревателей P_1/P_2 в диапазоне 0/1...1/0.

В результате исследований было установлено следующее:

- применение комбинированных систем нагрева в электрических миксерах способствует упрощению технологического процесса приготовления алюминиевых сплавов, снижению неравномерности температурного перепада в расплаве и управлению распределением неметаллических включений в ванне на стадиях нагрева выдержки и литья в соответствии с заданными технологическими требованиями;
- изменение соотношения мощностей сводового и подового электронагревателей P_1/P_2 определяет содержание неметаллических включений в верхней части ван-

ны $W_{\text{верх}}$, температурный перепад по высоте расплава ΔT_h и скорость движения расплава V ;

– использование разработанного алгоритма управления режимами работы системы электронагрева позволяет снизить содержание неметаллических включений в верхней части ванны $W_{\text{верх}}$ с 63 до 49 % от их общего количества и изменить температурный перепад по высоте расплава от 6,5 до 38 °C/м.

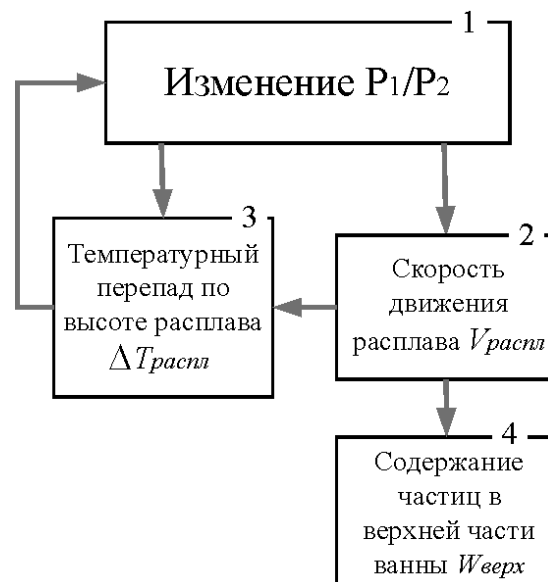


Рис. 6. Алгоритм управления режимами работы системы нагрева на стадиях нагрева, выдержки и литья

Библиографические ссылки

1. Непрерывное литье алюминиевых сплавов / В. И. Напалков, Г. В. Черепок, С. В. Махов и др. М. : ИнтерметИнжиниринг, 2005.
2. Вайнберг А. М. Индукционные плавильные печи. М. : Энергия, 1967.
3. Андреев А. Д., Гогин В. Б., Макаров Г. С. Высокопроизводительная плавка алюминиевых сплавов. М. : Металлургия, 1980.
4. Лисиенко В. Г., Щелоков Я. М., Ладыгичев М. Г. Плавильные агрегаты: теплотехника, управление и экология : справ. изд. М. : Металлургия, 2005.
5. Пат. 2371652 Российская Федерация, МПК⁷ F 27 В 3/10, F27 D 11/04, H 05 В 3/62. Электрическая печь для приготовления сплавов цветных металлов / А. А. Темеров, В. Н. Тимофеев, Д. А. Михайлов. № 2008105016/02 ; заявл. 11.02.2008 ; опубл. 27.10.2009, Бюл. № 30.
6. Темеров А. А., Михайлов Д. А. Исследование качества алюминиевых сплавов, получаемых в миксере с комбинированным нагревом // Вестн. Воронеж. гос. техн. ун-та. 2009. Т. 5. № 11. С. 80–84.
7. Лыков А. В. Тепломассобмен. М. : Энергия, 1971.
8. Оводенко, М. Б. Исследование закономерностей рафинирования и разработки технологии производства алюминиевых сплавов в крупнотоннажном индукционном агрегате : автореф. ... дис. канд. техн. наук. М., 1984.

A. A. Temerov, V. N. Timofeev, D. A. Mikhaylov

APPLICATION OF THE COMBINED HEATING SYSTEMS IN ELECTRIC HOLDING FURNACES FOR PREPARATION OF ALUMINIUM ALLOYS

In a paper creation and control principles by the combined heat of aluminium melt in electric composite holding furnaces with an arrangement of electric heaters under the arch and in the bottom are considered. On the basis of numerical and experimental results dependences of a temperature drop and distribution of nonmetallics in melt volume at stages of heat, dead melting and casting are defined and confirmed.

Keywords: temperature drop, nonmetallics, the holding furnace with the combined heat, a mathematical model, the control algorithm of heating system.

© Темеров А. А., Тимофеев В. Н., Михайлов Д. А., 2010

УДК 621.791.3

В. И. Темных, В. С. Казаков, Е. В. Темных, Г. М. Зеер, А. К. Абкарян, П. А. Растовцев, Е. А. Потехина

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ГАЛЛИЕВЫХ ПАСТ-ПРИПОЕВ*

Выявлены особенности контактного взаимодействия однофазных латуней с эвтектическими расплавами системы Ga–Zn как композиционными составляющими галлиевых паст-припоев. Определены продукты взаимодействия в зависимости от состава и температуры контактирующих компонентов.

Ключевые слова: галлий, пасты-припой, латунь, взаимодействие, эвтектика.

Взаимодействие порошковых и иных дисперсных материалов с расплавами галлия лежит в основе низкотемпературной пайки разнородных материалов. Легкоплавкие диффузионно твердеющие галлиевые пасты-припой, обладая уникальными свойствами [1–4], имеют и существенные недостатки: высокую стоимость, длительность процессов затвердевания, малую ударную вязкость, ограниченное время сохранности технологических свойств после приготовления и ряд других ограничений их применения.

Для повышения технологических возможностей и эксплуатационных характеристик галлиевых паст-припоев необходимы дополнительные исследования, направленные на поиск новых составов и структур исходных твердых и жидких фаз припоев с целью устранения имеющихся недостатков и создания новых конкурентоспособных технологий соединения разнородных материалов типа «металл–керамика», «металл–стекло», «металл–графит» и др.

В последние годы интерес к этой тематике существенно возрос [5–7], досконально изучаются обратимые и необратимые процессы, происходящие при нагреве и охлаждении основных составляющих галлиевых паст-припоев и определяющие их физико-механические свойства.

Практический интерес в качестве основных исходных твердых составляющих этих припоев представляют порошки сплавов меди с цинком в области твердых растворов и эвтектика Cu–Ag, поскольку присутствие атомов

цинка и серебра в соответствующих структурах ускоряет процесс реактивной диффузии [1; 8]. В качестве жидкой основы можно использовать легкоплавкие эвтектические сплавы галлия с цинком с температурой плавления ниже 25 °С. Варьируя составы и структуры твердых и жидких фаз, можно найти оптимальное композиционное строение припоев с минимальным содержанием галлия и серебра, а также режимы пайки в каждом конкретном случае соединения разнородных материалов.

Целью данной работы является изучение кинетики, механизма и продуктов взаимодействия компонентов (составляющих) галлиевых паст-припоев с максимальным содержанием цинка и минимальным содержанием галлия и серебра.

Для исследования контактных взаимодействий использовали стандартные однофазные латуни Л63 и Л68 с содержанием цинка 37 и 32 % по массе соответственно (остальное медь) в виде пластин, порошков и стружковых материалов, эвтектические сплавы галлия (ГОСТ 12797–77) с цинком марки ЧДА при содержании цинка до 20 % по массе и порошки припоя ПСр 72 по ГОСТ 19738–74.

Качество спая, форму и размеры образовавшихся фаз исследовали в оптическом микроскопе АХЮ-Observer.Z1m, Karl Zeiss. Для определения элементного состава фаз был использован энергодисперсионный спектрометр Oxford Instruments сканирующего электронно-

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

го микроскопа JEOL JSM 7001F Центра коллективного пользования приборной базой Сибирского федерального университета. Сканирование спая образцов осуществлялось при ускоряющем напряжении 20 кВ, по линии с шагом от 1 мкм и менее.

Фазовый состав продуктов взаимодействия латуней с галлиевыми расплавами определялся на рентгеновском дифрактометре D8 Advance. Параметры эксперимента: геометрия Брэгг-Брентано, начальный угол сканирования 20° , конечный – 90° , шаг сканирования $0,022^\circ$, время сканирования 0,6 с/шаг. При этом учитывались данные по фазовому составу, полученные нами ранее [1], а также известные структуры двойных сплавов [9].

На первом этапе было проведено исследование продуктов взаимодействия пластин чистой меди с жидким галлием через его прослойку толщиной не более 0,3 мм при температурах 150 и 200 °С. Установлено, что в результате реактивной диффузии в этом интервале температур образуется не только интерметаллид CuGa_2 , что соответствует данным [2; 3; 5], но и тонкие прослойки твердого раствора галлия в меди и интерметаллида Cu_9Ga_4 (рис. 1).

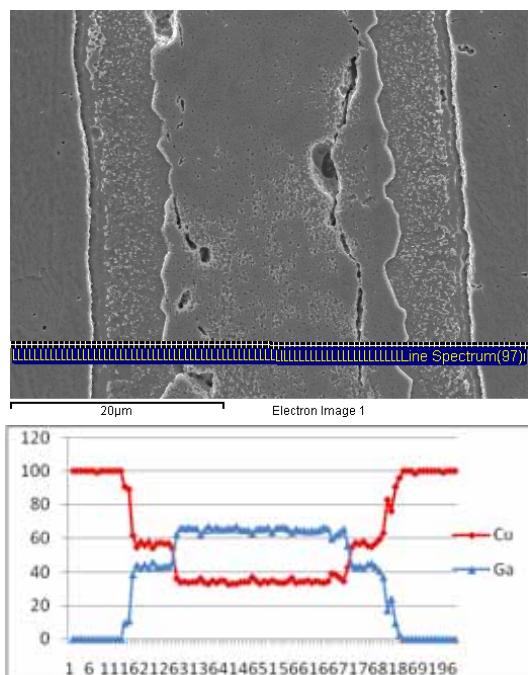


Рис. 1. Микроструктура, линия сканирования (вверху) и концентрационные кривые (внизу) распределения элементов по спаяу пластин меди галлием после изотермической выдержки при 200 °С в течение 120 ч

Химический состав интерметаллида CuGa_2 (середина спая) соответствует 64 % галлия по массе, а интерметаллида Cu_9Ga_4 (по краям спая) – 42 % галлия по массе. Сопоставляя полученные данные с известной диаграммой $\text{Cu}-\text{Ga}$ [9], можно убедиться, что в нашем случае образовавшийся интерметаллид Cu_9Ga_4 является фазой γ , а точнее, фазой γ_3 с максимальным содержанием галлия.

При контактировании пластин меди через прослойку расплава $\text{Ga}-\text{Zn}$ (Zn – 10 % по массе) при этих же температурах образуется смесь кристаллов фазы Cu_9Ga_4 и мелких кристаллов цинка, интерметаллид CuGa_2 не обнаружен (рис. 2).

В данном случае по сравнению с предыдущим кристаллическая структура интерметаллида Cu_9Ga_4 соответствует фазе γ_1 (32 % галлия по массе, а остальное медь) [9]. Содержание цинка по спаяу (около 18 %) почти в два раза больше исходного, что можно объяснить отеснением атомов цинка в глубину паяного шва по мере роста с двух сторон новых фаз.

После контактирования пластин однофазных латуней Л63 и Л68 через прослойку расплава $\text{Ga}-\text{Zn}$ (Zn – 10 % по массе) при тех же температурах присутствуют, судя по составу, твердый раствор галлия и цинка в меди, разновидности фазы γ и кристаллы цинка, при этом максимальное содержание цинка по краям спая достигает 52 % по массе (рис. 3) и не опускается ниже 20 % в середине шва.

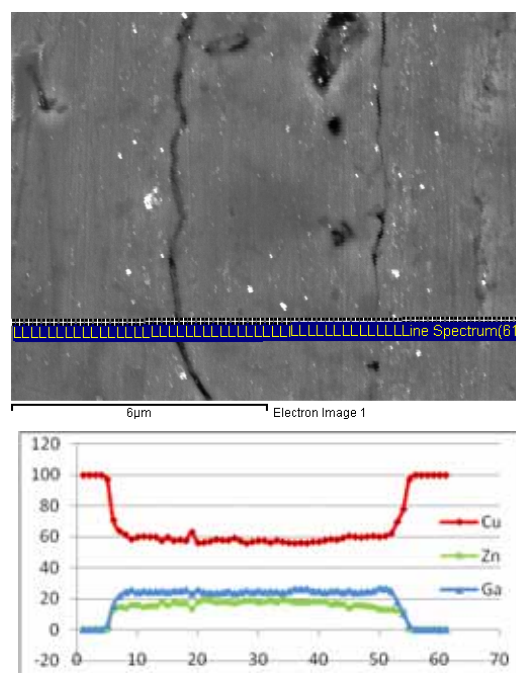


Рис. 2. Микроструктура, линия сканирования (вверху) и концентрационные кривые (внизу) распределения элементов по спаяу пластин меди сплавом $\text{Ga}-\text{Zn}$ с содержанием цинка 10 % после изотермической выдержки при 200 °С в течение 120 ч

Результаты рентгенофазового анализа продуктов взаимодействия латуней с расплавом $\text{Ga}-\text{Zn}$ после контактирования при температуре 150 °С подтвердили наличие следующих образовавшихся фаз: твердого раствора галлия в меди, интерметаллида Cu_9Ga_4 , а также твердого раствора галлия в цинке (рис. 4).

При переходе к порошковым и стружковым композициям (галлиевым пастам-припоям) элементный и фазовый состав продуктов взаимодействия латуней с галлием и сплавами галлия с цинком принципиально не меняется (рис. 5). В результате реактивной диффузии частицы латуни окружены, если идти от центра частицы, слоем твердого раствора цинка и галлия в меди, далее следуют разновидности фазы γ . Содержание цинка в композиции не опускается ниже 10...20 % по массе по всей длине линии сканирования, включая продукты взаимодействия частицы эвтектики $\text{Cu}-\text{Ag}$ с расплавом $\text{Ga}-\text{Zn}$. Это видно из левой части концентрационных кри-

вых распределения элементов по затвердевшей пасте (рис. 5, внизу).

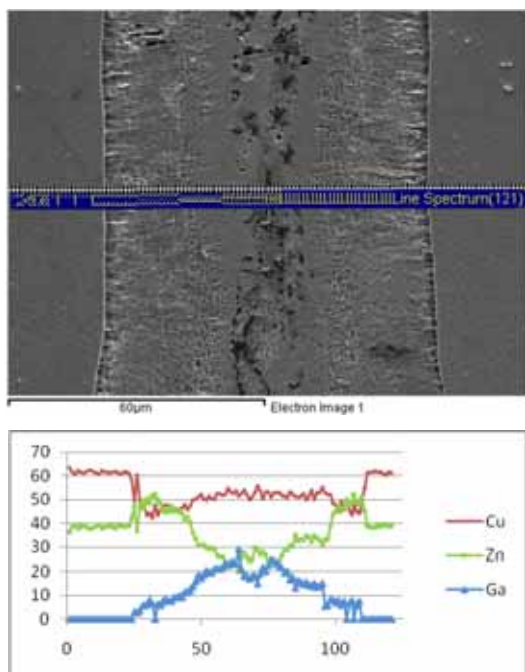


Рис. 3. Микроструктура, линия сканирования (вверху) и концентрационные кривые (внизу) распределения элементов по спаю пластин латуни Л63 сплавом Ga–Zn с содержанием цинка 10 % после изотермической выдержки при 200°С в течение 120 ч

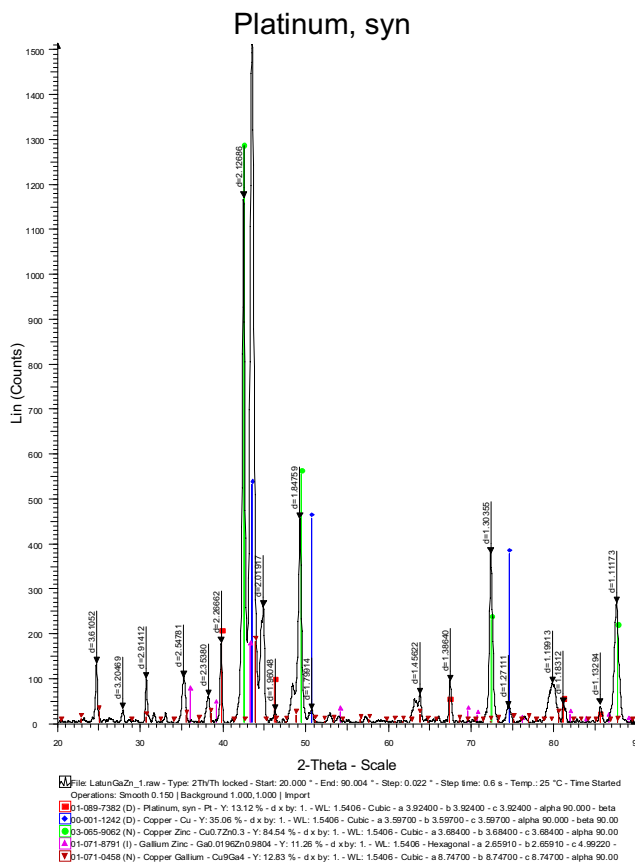


Рис. 4. Дифрактограмма продуктов взаимодействия латуни Л63 с расплавом Ga–Zn (Zn – 10 %) после контактирования при температуре 150°С в течение 120 часов

Таким образом, присутствие атомов цинка в исходных латунях и жидком галлии смещает химическую реакцию галлия с медью в область образования интерметаллида с большим содержанием меди: образуется интерметаллид Cu_9Ga_4 при температуре ниже 200°С; согласно диаграмме Cu–Ga [9] интерметаллид CuGa_2 должен образовываться до температуры 254°С.

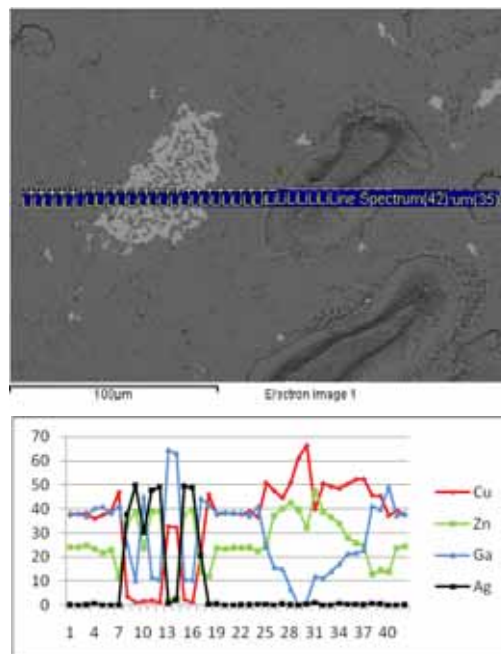


Рис. 5. Микроструктура, линия сканирования (вверху) и концентрационные кривые (внизу) распределения элементов по затвердевшей при 150°С пасте с содержанием стружки латуни Л63 – 45 % по массе; эвтектики Cu–Ag – 10 %; сплава Cu–Zn – 45 %, в котором цинка 10 % по массе

Важно то, что наличие атомов цинка в исходной твердой фазе (латуни) и исходной жидкой фазе (сплаве галлия с цинком) в результате контактного взаимодействия этих разнородных фаз дает смесь хрупких кристаллов интерметаллида Cu_9Ga_4 и относительно пластичного, прочного и достаточно «тугоплавкого» цинка с температурой плавления более 400°С, причем кристаллы цинка окружают кристаллы хрупких интерметаллидов, что отчетливо видно на рис. 3. Это означает разрушение хрупкого интерметаллического каркаса, который присутствует при затвердевании известных паст-припоев при использовании в них в качестве исходной твердой составляющей порошка меди или бронзы.

Предлагаемая модель структуры затвердевших галлиевых паст-припоев реализована в разработанном и апробированном нами припое (Пат. № 2317882 РФ. Припой для бесфлюсовой пайки. В. И. Темных, В. С. Казаков, Е. Г. Зеленкова) и будет совершенствоваться в дальнейшем.

Результаты проведенных исследований позволяют прийти к следующим выводам.

1. Присутствие атомов цинка в исходном порошке однофазной латуни и в расплаве галлия ускоряет и смещает химическую реакцию галлия с медью в область образова-

ния интерметаллида с большим содержанием меди: в цинкосодержащих пастах-припоях на основе галлия образуется интерметаллид Cu_9Ga_4 при температурах ниже 200°C .

2. Цинкосодержащие галлиевые пасты-припой, будучи более технологичными и обладая более высокими эксплуатационными свойствами, являются перспективными для низкотемпературной диффузионной пайки разнородных материалов.

Библиографические ссылки

1. Темных В. И., Казаков В. С., Митяев А. Е. Формирование композиционных структур припоев на основе галлия // Технология машиностроения. 2006. № 9. С. 46–50.
2. Новосадов В. С. О механизме образования соединения при использовании жидкометаллических клеев // Научные проблемы соединения материалов галлиевыми пастами / МГП НТО Машпром. М., 1972. С. 27–31.
3. Тихомирова О. И. Теоретические проблемы разработки галлиевых паст // Научные проблемы соединения материалов галлиевыми пастами / МГП НТО Машпром. М., 1972. С. 6–10.
4. Модели формирования композиционных структур припоев на основе галлия в процессе затвердевания / В. И. Темных, В. С. Казаков, А. Е. Митяев, Е. В. Темных // Технология машиностроения. 2008. № 9. С. 63–70.
5. Анчаров А. И., Григорьева Т. Ф. Взаимодействие твердых растворов систем Cu-In , Cu-Sn , Cu-Bi с жидкими эвтектиками галлия с оловом и индием // Неорганические материалы. 2006. № 10. С. 1164–1170.
6. Особенности взаимодействия механокомпозитов на основе меди с жидким галлием / А. И. Анчаров, Т. Ф. Григорьева, А. П. Барина, Н. З. Ляхов // Фазовые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы. 2006. № 4. С. 1–4.
7. Sommadossi S., Troiani H. E., Guillermet A. F. Diffusion soldering using a Gallium metallic paste as solder alloy: study of the phase formation systematic // J. Mater. Sci. 2007. № 42. P. 9707–9712.
8. Казаков В. С., Темных Е. В. Металлографические исследования продуктов взаимодействия галлиево-цинковых расплавов с медными сплавами / Молодежь и наука: начало XXI века : сб. материалов Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных / СФУ. Красноярск. 2009. С. 83–86.
9. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. М. : Металлургия, 1962.

V. I. Temnykh, V. S. Kazakov, E. V. Temnykh, G. M. Zeer, A. K. Abkaryan, P. A. Rastovtsev, E. A. Potekhina

INTERACTION OF COMPOSITE COMPONENTS OF GALLIUM PASTES-SOLDERS

In the work the authors reveal features of contact interaction of single-phase brasses with melts of Ga–Zn system as composite components of gallium pastes-solders. Interaction products in relation to structure and temperature of contacting components are determined.

Keywords: gallium, pastes-solders, brasses, interaction, eutectics.

© Темных В. И., Казаков В. С., Темных Е. В., Зеер Г. М.,
Абкарян А. К., Растовцев П. А., Потехина Е. А., 2010

И. Н. Целюк, Д. И. Целюк

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ОТХОДОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ООО «СОВРУДНИК»*

Изучен вещественный состав хвостов из хвостохранилища ООО «Соврудник». Определены условия и возможности технологической переработки хвостов.

Ключевые слова: Красноярский край, вещественный состав хвостов, золотоносность, технология переработки.

Золотоизвлекающая фабрика ООО «Соврудник» расположена в Северо-Енисейском районе, в п. г. т. Северо-Енисейский в долине р. Безымянка. Предприятие специализируется на добыче рудного золота открытым способом и шахтным способом и переработке руды на золотоизвлекающей фабрике с получением конечного продукта в слитках. Основная база компании – золоторудные месторождения «Советское» и «Эльдорадо». Месторождения представлены золото-кварцевой (малосульфидной) формацией. В результате длительной эксплуатации фабрики вблизи п. г. т. Северо-Енисейский сформировано хвостохранилище, в которое уложено более 6,2 млн м³ хвостов. Площадь, занимаемая ложем хвостохранилища, составляет 0,4 млн м², максимальная высота 45...50 м, длина 2 500 м. Среднее содержание золота в рудных телах, перерабатываемых на фабрике, составляет 5 г/т. При этом потери золота, поступающего в отвал, составляют от 5 до 15 %, что соответствует среднему содержанию 0,1...0,3 г/т.

В 2010 г. ГПКС «КНИИГиМС» проведены исследования золотоносности хвостов из хвостохранилища ООО «Соврудник». В массиве лежалых хвостов впервые выявлены высокие концентрации золота, варьирующие от 2,5 до 18,8 г/т. Мощность горизонтов, обогащенных золотом, 6...8 м. Ресурсный потенциал для промышленного освоения оценивается не менее чем в 7 т.

Решение вопроса о применении метода технологического извлечения золота напрямую зависит от особенностей вещественного состава хвостов. Важными моментами являются определение фазового (минерального) состава исходного сырья, его структурных характеристик (размера минералов и характера их сростаний с другими минеральными фазами); изучение особенностей распределения извлекаемых элементов; определение свойств минералов, влияющих на процессы извлечения. Таким образом, исследование сложных минеральных объектов и возможности извлечения из них необходимых компонентов, к числу которых относятся и хвосты золотоизвлекающих фабрик, необходимо начинать прежде всего с изучения вещественного состава хвостов и выявления особенностей содержания в них золота.

Изучение особенностей распределения вещественного состава выполнялось в процессе обследования толщи хвостов, размещенных в хвостохранилище. Для получения фактического материала, отражающего особенности поведения вещества, слагающего толщу хвостов, вы-

полнено бурение массива на всю его мощность, с заглублением в подстилающие грунты на 2 м. Бурение выполнялось в пляжной зоне хвостохранилища. Общая мощность вскрытия техногенных отложений составила от 15 до 21 м.

Анализ проб выполнялся в аккредитованных лабораториях Института химии и химической технологии СО РАН, ГПКС «КНИИГиМС», ОАО «Иргиредмет». Для исследования минерального состава применялись методы рентгенофазового анализа (РФА), оптической микроскопии и электронной микроскопии (сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM-1000). Химический состав определялся с помощью атомно-эмиссионного спектрометра на индуктивно-связанной плазме (ИСП) АСТВА-М и спектрального атомно-эмиссионного комплекса «ГРАНД». Определение содержания золота, серебра и платины выполнено с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ISP-MS), на приборе ELAN 9 000. Исследованию подвергнуто 200 проб, отобранных из хвостохранилища. С целью выбора оптимальной технологической схемы комплексного использования хвостов выполнены исследования гранулометрического состава с фиксацией золота по классам крупности, сцинтилляционный анализ для определения золота крупностью менее 25 мкм, рациональный анализ с определением форм нахождения золота.

В хвостохранилище ООО «Соврудник» выделено два типа хвостов: песчаные образования пляжной зоны и илистые отложения пруда-отстойника. Толща лежалых хвостов пляжной зоны имеет неоднородное строение, с четко выраженными двумя горизонтами. Верхний горизонт кремнистого типа, нижний горизонт кремнисто-железистого типа. Толща лежалых хвостов пруда-отстойника представлена илами кремнистого типа.

По минеральному составу основными порообразующими минералами хвостов пляжной зоны являются слюдистые образования и кварц. Доля кварца достигает 60 %, мусковита и хлорита до 35 %. В подчиненных количествах, до 5 %, присутствуют сульфиды. Хвосты нижних горизонтов пляжной зоны относятся к сульфидному типу с содержанием сульфидов до 33,9 % и включают пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, пирротин. Характерной особенностью хвостов нижней части разреза является наличие горизонта, претерпевающего интенсивное гипергенное преобразование, в котором развиты вторичные

* Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (дополнительное соглашение № 01/10 от 27 мая 2010 г.).

минералы лимонит, скородит (питтит), англезит, а также новообразованные формы гематита, сульфатов железа и свинца, самородной серы, гипса, гидроокислов железа.

Хвосты пруда-отстойника на 91,4 % состоят из слюдисто-гидроослюдистых образований и кварца. В хвостах нижних горизонтов пруда-отстойника доля рудных минералов не превышает 8,6 %, из них 8,2 % приходится на гидроокислы и сульфаты железа, скородит, а 0,4 % – на сульфиды.

Лежалые хвосты ООО «Соврудник» включают следующие микроэлементы: Ag, Au, As, B, Ba, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Ti, V, W, Zn. В хвостах пляжной зоны высокие валовые содержания Ag, Au, Pb, Cu, Zn, Co, V, Ni и их водорастворимые формы выявлены в основании массива хвостов, тесно сопряженного с горизонтом гипергенного преобразования отходов. В хвостах пруда-отстойника высокие валовые содержания Au, Sb, W и Mo выявлены в интервале от 9,5 до 13,5 м.

В результате изучения вещественного состава продуктивных на золото толщ выделено два типа золотоносных отходов: сульфидный тип хвостов, включающий горизонт гипергенного преобразования пляжной зоны, и глинисто-железистый тип хвостов пруда-отстойника.

Для исследования возможности переработки потенциальных золотосодержащих отходов отобрано две пробы. Проба 1 отобрана из гипергенного горизонта пляжной зоны, в интервале от 6 до 14 м. Содержание золота в пробе по результатам масс-спектрометрического анализа с индуктивно-связанной плазмой составило 6,14 г/т, по результатам пробирного анализа – 8,0 г/т. Проба 2 отобрана из лежалых хвостов пруда-отстойника, в интервале от 9,5 до 13 м. Содержание золота в пробе по результатам масс-спектрометрического анализа с индуктивно-связанной плазмой составило 1,07 г/т, по результатам пробирного анализа – 1,73 г/т.

По результатам гранулометрического исследования в обеих пробах подавляющее количество золота представлено мелкими и тонкими золоти́нами (класс крупности минус 0,075 мм): 98,7 % в пробе 1 и 100 % в пробе 2.

По результатам сцинтилляционного анализа установлено, что на долю золота в интервале крупности 3...25 мкм в пробе 1 приходится 57 %, а в пробе 2 – практически 100 % от общего содержания золота в них. Основная масса золота в интервале крупности 3...25 мкм (74,8 % в пробе 1 и 69,6 % в пробе 2) представлена золоти́нами размером 12...25 мкм. Средний расчетный диаметр золоти́н изменяется в пределах 8,7...9,7 мкм.

По результатам рационального анализа на золото проб 1 и 2 (исходная крупность материала класса минус 0,075 мм пробы 1 составляла 50,8 %, а пробы 2 – 94,9 %) определены следующие формы нахождения золота: свободное (амальгамируемое); в виде сростков с рудными и порообразующими компонентами (цианируемое); извлекаемое цианированием после обработки соляной и азотной кислотами, а также тонко вкрапленное в порообразующие минералы и ассоциированное с вторичными минералами железа и мышьяка.

Частицы свободного золота имеют форму тонких пластинок с неровными краями и развальцованных чешуек, что обусловлено процессами техногенного воздействия. Размеры золоти́н не более 0,15 мм. Цвет золоти́н меняется

от желтого до ярко-желтого. Поверхность шероховатая, мелкобугорчатая. В более рельефных углублениях фиксируются тонкодисперсные массы силикатного состава серовато-белого цвета. Отмечаются участки с тонкими прерывистыми пленками гидроксидов железа (рис. 1). По результатам микрозондового анализа установлено, что в химическом составе минерала содержание золота составляет 95,9 %, серебра 4,1 %. Такое соотношение характерно для золоти́н из эксплуатируемых месторождений.

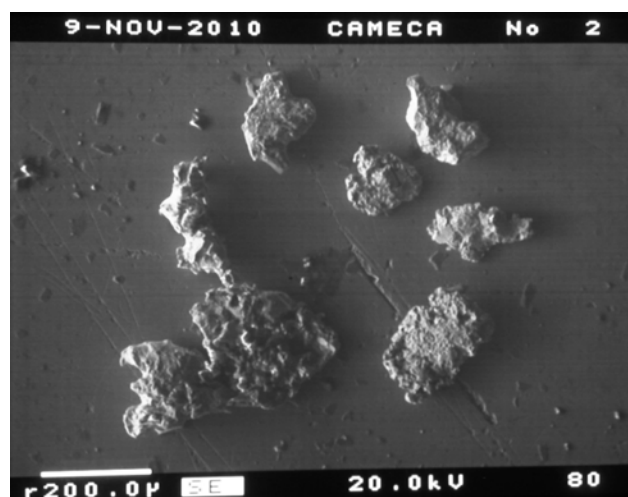


Рис. 1. Шагреновый характер поверхности свободных золоти́н

Другие золоти́ны обладают ячеистой, губчатой структурой поверхности. Ячеистые структуры по составу отличаются от основной золоти́ны (рис. 2). В составе скелетных граней ячеек выявлено 96,3 % золота, отсутствует серебро при наличии 2,5 % алюминия, 1 % кремния и 0,2 % меди. Такой химический состав, а также форма поверхности самой золоти́ны позволяет полагать, что стенки ячеек сформировались под воздействием гипергенных процессов при хранении золоти́ны в массиве хвостов.

Золото в сульфидах фиксируется в сростках и включениях. В подавляющем большинстве золото фиксируется в арсенопирите и пирите, реже галените и сфалерите. Содержание золота в пирротине не установлено. Золото, заключенное в арсенопирите, имеет плотную однородную микроструктуру. Кроме этого, в арсенопирите отмечаются микровключения галенита (рис. 3). Рентгено-спектральным микроанализом установлено, что в арсенопирите золото присутствует в виде соединения Au–Ag. Частицы золота гомогенные и не содержат в своем составе других элементов (см. таблицу).

Ряд золоти́н представлен в сростках с вторичными минералами и покрыт пленками гидроокислов железа, корочками и агрегатами сульфатов железа, меди, а также глинисто-железистыми массами (рис. 4). Микрозондовый анализ агрегатов, покрывающих золото, показал содержание в них золота 9,4 %, меди 1,6 %, железа 16,9 %, алюминия 72,1 %.

Данные рационального анализа, выполненного совместно с ОАО «Иргиредмет», показывают, что из пробы 1 сорбционным цианированием извлекается 84,0 %, из

пробы 2 – 89,9 % золота, из них на долю сростков с рудными и породообразующими компонентами приходится соответственно 62,7 и 63,3 % золота. При исходной крупности материала 3,1 % (проба 1) и 3,2 % (проба 2) массовая доля свободного (амальгируемого) металла составляет по пробам 1 и 2 – 21,3 и 26,6 %.

Упорное (не извлекаемое цианированием) золото в пробе 1 ассоциировано в основном с сульфидами (8,4 %), а также с комплексом минералов, растворимых в соляной

кислоте – гидроксидами железа, скородитом, пирротинном, хлоритами, карбонатами и пр. (5,9 %) и, в меньшей степени, с породообразующими минералами (1,7 %). Основной причиной технологической упорности к цианистому процессу пробы 2 является тонкая вкрапленность золота в породообразующие минералы (5,9 %) и его ассоциация с комплексом минералов, растворимых в соляной кислоте (3,0 %). Менее заметное влияние на упорность оказывает ассоциация благородного металла с сульфидами (1,2 %).

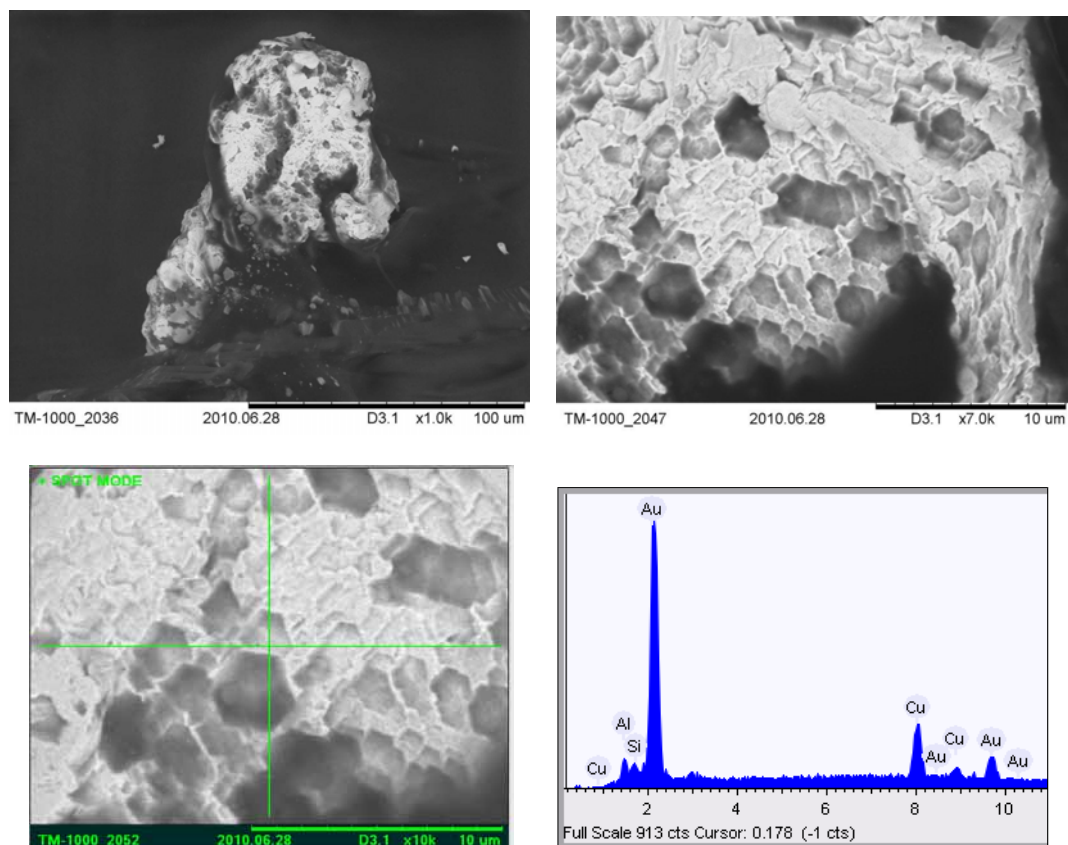


Рис. 2. Морфология поверхности золотин: морфология свободного золота (вверху слева); сотово-ячеистая поверхность золота (вверху справа); микрозондовый анализ ячеистой поверхности золота (внизу)

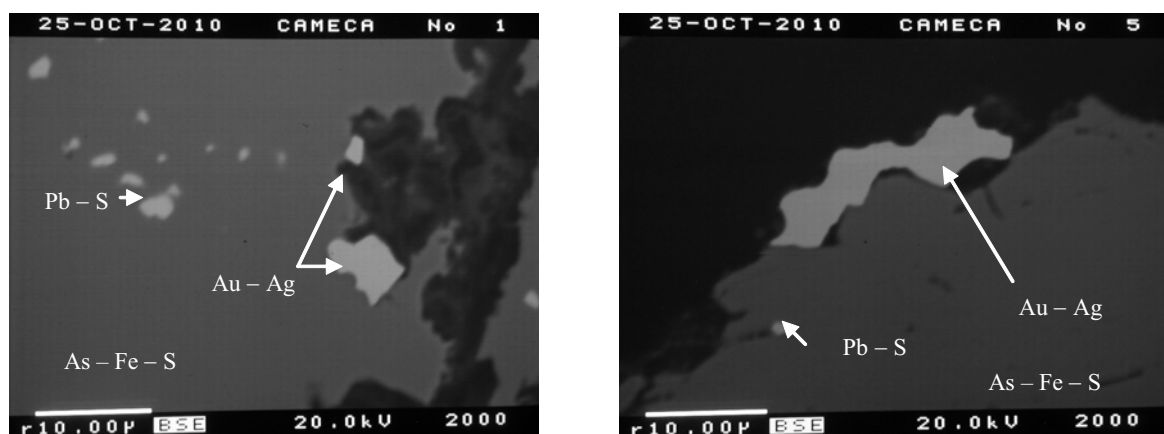


Рис. 3. Растровые снимки ассоциаций золота с арсенипиритом и галенитом. Обратно-рассеянные электроны

Результаты рентгеноспектрального микроанализа частиц золота

Массовая доля элемента, %	Номер золотины			
	1	2	3	4
Ag	9,9	9,2	15,6	12,6
Au	90,0	90,7	84,3	87,3

Рациональные анализы на исходной крупности материала хвостов показали, что извлечение цианированием составит в пробе 1 и пробе 2 соответственно 70,5 и 83,2 %. Практически 20 % золота в пробе 1 находится в виде тонкой вкрапленности в сульфидах, а 8 % – ассоциировано с вторичными минералами железа и мышьяка. В пробе 2 практически 8 % драгоценного металла тесно ассоциировано с породообразующими минералами, а 6 % – с гипергенными железо- и мышьяксодержащими образованиями.

Несмотря на имеющиеся отличия проб хвостов, в технологическом отношении они достаточно близки. При крупности измельчения 97 и 99 % класса минус 0,07 мм (соответственно пробы 1 и 2) из пробы 1 сорбционным цианированием извлекается 84,0 %, из пробы 2 – 89,9 % золота. Массовая доля свободного (амальгамируемого) металла составляет по пробам 1 и 2 – 21,3 и 26,6 %.

При исходной крупности материала количество свободного золота в пробе 1 – 3,1 %, в пробе 2 – 3,2 %, а доля золота, извлекаемого цианированием, – 70,5 и 83,2 % соответственно.

Основной причиной технологической упорности к цианистому процессу пробы 2 является тонкая вкрап-

ленность золота в породообразующие минералы (7,7 % при исходной крупности хвостов; 5,9 % – при доизмельчении до крупности 99 % класса минус 0,07 мм) и его ассоциация с комплексом минералов, растворимых в соляной кислоте (5,9 и 3,0 % соответственно).

Отходы производства могут перерабатываться по единой технологии. Извлечение золота на уровне 84...86 % из них возможно методом сорбционного цианистого выщелачивания после измельчения материала проб до крупности 97...98 % класса минус 0,07 мм.

Таким образом, впервые за 100-летний период эксплуатации данного хвостохранилища в разрезе толщи песков, расположенных в пляжной зоне, выявлены высокие концентрации золота от 1 до 18,8 г/т при мощности обогащенных хвостов от 6 до 8 м. В иловых осадках обнаружены высокие концентрации золота на уровне 1,0...1,75 г/т при мощности горизонта 3,5 м. При этом методом сорбционного цианистого выщелачивания по технологической схеме возможно извлечение золота на уровне 84...86 %, что обеспечивает возможность вторичного переработки золотосодержащих хвостов.

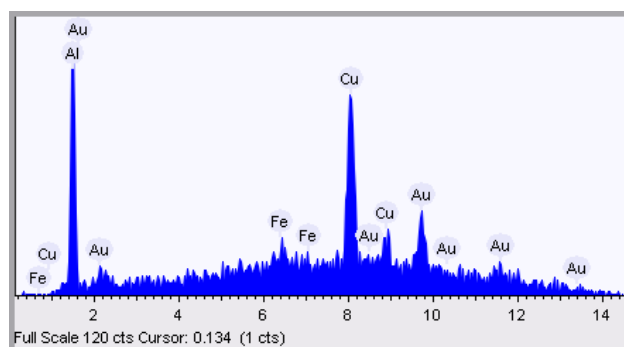
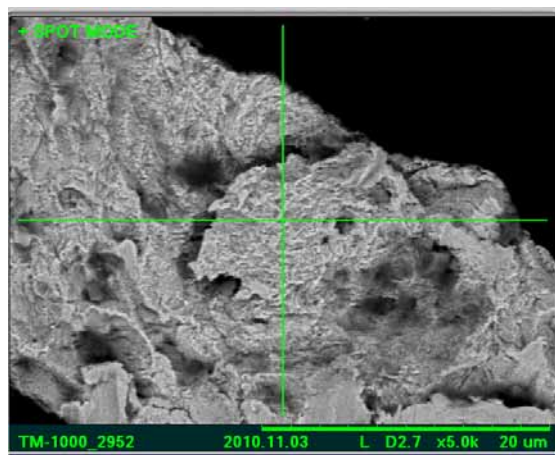


Рис. 4. Микрондовый анализ гидроокислов на поверхности свободной золотины

I. N. Tselyuk, D. I. Tselyuk

TECHNOLOGICAL FEATURES AND THE PROSPECTS FOR EXTRACTION OF GOLD FROM TAILINGS WASTE «SOVRUDNIK»

The material composition of the tails of tailings «Sovrudnik» is studied. The conditions and possibilities of tails technological processing are defined.

Keywords: Krasnoyarsky kray, material composition, tails, gold content, processing technology.

© Целюк И. Н., Целюк Д. И., 2010

РАЗДЕЛ
4



ЭКОНОМИКА



Т. А. Боякова, Е. А. Головенко, В. И. Пантелеев, В. А. Первушин

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ – ОДИН ИЗ КЛЮЧЕВЫХ ФАКТОРОВ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ РОССИИ*

Работа посвящена вопросам налажки механизмов взаимодействия вузов с предприятиями региона в области элитного образования магистров по проектной модели и реализации совместных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и инновационно-технологической деятельности.

Ключевые слова: социально-экономическое развитие государства, высшее профессиональное образование, эффективность бизнес-процессов, элитное образование, магистерская подготовка, групповое проектное обучение, проектный офис, корпоративный стандарт управления проектами.

Финансово-экономический кризис ударил по России быстро и точно. Рухнувшие в 2008 г. нефтяные котировки потащили за собой российскую экономику. Кризис многократно усилил скрытые негативные тенденции, присущие неразвитой российской рыночной экономике [1]. Россия – лидер по падению ВВП за время кризиса. По заявлениям министра финансов и премьер-министра РФ, накопленные в начале 2000-х гг. резервы иссякнут уже в 2011 г. из-за необходимости покрытия дефицита ВВП. По официальным данным 2 миллиона россиян лишились работы с начала кризиса, а 28 % работающих россиян ожидают, что лишатся работы в ближайшие два-три месяца.

По мнению некоторых экспертов, разговоры о том, что причина всех российских бед в экспортно-сырьевой направленности отечественной экономики, не выдерживают критики. По оценке МВФ Саудовская Аравия, экономика которой в еще большей степени зависит от мировой нефтяной конъюнктуры, по итогам развития этого кризиса имеет вполне приличный экономический результат: падение ВВП в пределах 1 %.

В связи с недостаточностью критики одной только экспортно-сырьевой модели, аналитики ищут другие факторы. Среди прочих наиболее существенными представляются:

- низкий уровень и низкие темпы роста производительности труда (выработка на одного занятого в натуральном и денежном выражении);
- уровень развития и ориентация малых предприятий на сферу распределения, т. е. в отраслях с невысокой добавленной стоимостью, что не способствует предоставлению рабочих мест по специальности высококвалифицированным кадрам из реального сектора;
- недостаток капиталовложений в модернизацию основных фондов и НИОКР для несырьевых отраслей промышленности;
- дефицит квалифицированных трудовых ресурсов, отвечающих существующим потребностям экономики.

Производительность – показатель, фактически отражающий конкурентоспособность национальной экономики. Об индексе конкурентоспособности GCI (Global

Competitiveness Index) можно судить, например, по ВВП на занятого человека. В РФ производительность в 2,5–3 раза ниже, чем в развитых странах и, например, в 1,5 раза ниже, чем в Португалии. В последние 7 лет зарплата россиян росла, опережая ВВП, на 8 % в год (главным образом, за счет перераспределения экспортных доходов). Поэтому неудивительно, что доля валовой прибыли экономики в ВВП постоянно снижается, что отрицательно сказывается на объемах инвестиций в основные фонды, техническом перевооружении производства и инновационной активности. Все исследования, проводившиеся в мире за последние 20 лет, показывают, что главное средство наращивания производительности – рост эффективности бизнес-процессов и оптимизация персонала. При этом технологии и технические средства производства занимают по влиянию на производительность третью строчку после конкурентной среды, т. е. общего уровня развития рыночной экономики [1].

Повышение производительности за счет оптимизации персонала и бизнес-процессов входит в противоречие с тезисом о том, что малый бизнес не готов создавать рабочие места по специальности высококвалифицированным кадрам. Количество малых и средних предприятий (МСП) на 1 тыс. жителей в РФ меньше, чем в развитых и большинстве развивающихся стран от 3 до 10 раз, а в МСП занято от 50 до 82 % трудоспособного населения. В США доля добавленной стоимости в структуре экономики от МСП достигает 40 %, а в ЕС – от 50 до 80 %. Все это свидетельствует о незрелости российской предпринимательской культуры и низком уровне развития малого бизнеса в целом.

Не спешат модернизироваться и крупные предприятия перерабатывающего сектора Российской Федерации. Хронический недостаток производственных инвестиций стал в последние годы одной из главных проблем российской экономики. Инвестиции в обрабатывающие производства составляет 3,1 % от ВВП, что в 5–10 раз меньше, чем у любой развивающейся экономики мира, не говоря уже о развитых странах. Российские перерабатывающие предприятия в большинстве своем непривлекательны для

* Статья подготовлена в результате реализации проекта «Решение кадровой проблемы в системе коммерциализации научно-технических разработок и поддержки инновационного развития Красноярского края на основе технологии группового проектного обучения», реализованного в 2010 г. ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по заказу КГАУ «Красноярский региональный фонд поддержки научной и научно-технической деятельности». Работа выполнена при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности (проект № 70-КФ).

инвесторов. В отличие от КНР и Бразилии, где преобладают прямые инвестиции в местный бизнес, в том числе иностранные, российская экономика получает более 80 % инвестиций в виде краткосрочного спекулятивного капитала, что в итоге приводит к «надуванию фондовых пузырей». Для российского фондового рынка стала характерной концентрация портфельных инвестиций в сырьевых отраслях. Когда более 75 % рыночной капитализации страны – сырьевые компании (в которых занято менее 2 % рабочей силы и производится менее 10 % добавленной стоимости), трудно ожидать притока чьих-либо стратегических инвестиций в другие отрасли [1].

Однако надо четко отдавать себе отчет, что недостаток инвестиций в реальную экономику объясняется не только, и не столько, слабостью инвестиционных или финансовых институтов и недостатком средств, сколько слабостью самого перерабатывающего производства, и в первую очередь менеджмента и собственников бизнеса. Проблема, как всегда, не в деньгах или слабой экономической системе, а в людях. Со времен плановой экономики контроль предприятий остался в руках «красных директоров», которые привыкли работать в условиях плановой экономики и жесткой командно-административной системы. У «опытного» российского менеджмента и собственников предприятий сформировалась жесткая патерналистская позиция. Они не готовы модернизировать систему управления или структуру основных фондов, искать новые возможности для развития бизнеса, обосновывать и привлекать инвестиции, развивать собственную квалификацию заказчиков НИОКР и инновационную активность. Все, на что они способны, просить и требовать у властей большего внимания к их трудностям, предоставления государственной поддержки и госзаказа, решения их проблем за счет бюджета и налогоплательщиков. Имея такую позицию, по крайней мере, трудно или даже невозможно привлечь частного инвестора к модернизации и развитию.

Немногом лучше обстоят дела в системе высшего профессионального образования и науки. Именно эти области должны обеспечить инновационную активность бизнеса за счет продвижения результатов своей интеллектуальной деятельности, обеспечения квалифицированными кадрами и НИОКР. Но университеты и научные институты не готовы предлагать рынку те продукты своей интеллектуальной деятельности, которые там действительно востребованы. У ученых нет информации о потребности предприятий в НИОКР, нет обратной связи с потенциальными заказчиками НИОКР. Они имеют слабое представление об истинных реалиях компаний на российском и западных рынках, структуре этих рынков, их особенностях и тенденциях, в силу отсутствия практического опыта маркетинга, прогнозирования и аналитической обработки информации. В результате мы имеем плохую координацию выполнения проектов, слабую привязку реализуемых проектов к задачам развития экономики, слабое обоснование и низкую коммерческую эффективность выполнения прикладных научных разработок, низкую эффективность использования денежных средств, выделенных на проведение НИОКР. Но нельзя в этих проблемах обвинять только ученого и руководителей среднего управляющего звена. Истинная причина заключается в банальном несоответствии структуры и методов управления

всех уровней университетами и НИИ современным экономическим условиям.

Качество и структура выпускников вузов за редким исключением также не отвечает требованиям экономики. Несмотря на то, что сегодня резко увеличилось число людей с вузовскими дипломами, мало кто работает по своей специальности. Работодатель теперь требует наличие документа о высшем образовании для выполнения любого функционала. Курьер с дипломом – сегодня уже не редкость. Перепроизводство специалистов с высшим образованием привело к снижению мотивации студентов на качественную профессиональную подготовку [2]. При этом абсолютное большинство работодателей и профессиональных ассоциаций не стремятся наладить обратную связь с вузами в своем регионе, влиять на программу обучения, качество нужных ему выпускников и структуру готовящихся кадров по специализации. В СССР регулирование структуры выпуска кадров, их количества и качества, как и последующее трудоустройство, осуществляло государство, но сегодня работодатель должен сам взаимодействовать с вузами, если он заинтересован в высоком кадровом потенциале и соответственно долгосрочном развитии своего бизнеса. В результате отсутствия механизмов взаимодействия вузов с потенциальными работодателями, и какой бы то ни было обратной связи, наблюдается очевидная ситуация, когда реальная потребность предприятий остается неудовлетворенной.

Учитывая все вышесказанное, одной из важных причин несостоятельного развития экономики РФ является инерционность системы высшего профессионального образования. За последние 25 лет страна кардинально изменилась, и неизменной остается только система высшего профессионального образования, несмотря на все реформы федеральной власти в этой сфере. И поэтому модернизация системы высшего профессионального образования – реальная и очевидная возможность повлиять на дальнейшее развитие всего государства. В этой связи необходимо найти любые возможности изменить положение дел в системе высшего образования. Необходимо сделать так, чтобы система обеспечила:

- развитие экономики путем подготовки необходимых для ее развития молодых специалистов высокой и высшей квалификации;
- повышение квалификации, переподготовку и дополнительное образование для руководителей среднего и высшего звена управления и собственников предприятий за счет качественного бизнес-образования и консультационной деятельности;
- коммерчески эффективное выполнение требуемых НИОКР для модернизации предприятий, стимулирование инновационной активности бизнеса путем предложения прикладных разработок, от которых трудно отказаться.

Кроме того, университеты могут повышать собственную производительность труда в денежном выражении, более значимо участвовать в перераспределении структуры добавленной стоимости в свою пользу, т. е. стать в перспективе экономически самостоятельными и сильными предприятиями, существенным источником формирования ВВП национальной экономики. Именно из этих задач нужно исходить при модернизации системы выс-

шего профессионального образования. В связи с этим необходимо использовать возможность создания в Красноярском крае Сибирского федерального университета, его переход в статус автономного учреждения, переход на двухуровневую систему образования, разрешение университетам учреждать коммерческие предприятия. Ведь, в конечном счете, все инициативы федеральной власти в области модернизации высшего образования направлены на создание условий, когда система высшего образования естественным образом согласуется с потребностями развития инновационной экономики РФ.

Авторами статьи предложена концепция использования двухуровневой системы образования и технологии группового обучения для реализации возможности создания в Красноярском крае системы элитного образования по магистерским программам на базе Сибирского федерального университета.

Аналогом для такой системы может послужить система элитного технического образования (ЭТО) Томского политехнического института. Это – это многоступенчатая конкурентная среда, мотивирующая студентов к получению более высокого уровня образования посредством углубленного изучения фундаментальных дисциплин, развития способности к инновационной деятельности и умений самостоятельно решать реальные инженерные задачи. Обучение по системе ЭТО в ТПУ реализуется в 10 центрах превосходства ТПУ, ведется по магистерским программам, созданным совместно с ведущими российскими и зарубежными концернами, в кооперации с сильнейшими научными группами в ведущих международных лабораториях, известных исследовательских центрах и сильнейших университетах мира. Сегодня в этих центрах обучаются 270 магистров по 25 магистерским программам. В том числе по 8 Double Degree программам, позволяющим получать дипломы, признаваемые и в России, и за рубежом. Подтверждением состоятельности такого подхода является тот факт, что 100 % выпускников системы ЭТО ТПУ 2009 г. трудоустроены по своей специальности, а спрос на молодых специалистов с дипломом ЭТО ТПУ в среднем составляет 170 % от фактического выпуска, а по отдельным специальностям – более 200 (см. <http://www.gosrf.ru/journal/article/954>).

В другом университете из Томска – ТУСУРе – развивается система группового проектного обучения (ГПО). Целью ГПО является практическое закрепление знаний и навыков проектной, научно-исследовательской и организационно-управленческой деятельности на примере разработки инновационных проектов создания устройств, систем или программных продуктов, ориентированных на дальнейшее их коммерческое использование. По замыслу организаторов ГПО каждый проект должен стать воплощением инновационных идей и предложений, которые могут быть реализованы в форме создания новых наукоемких изделий и технологий, востребованных на рынке или в промышленности. Для проведения группового проектного обучения из числа отобранных студентов, как правило 3 и 4 курсов, приказами по университету создаются проектные группы. Для участников проектных групп разрабатываются и утверждаются индивидуальные учебные планы, после чего ГПО для таких студентов является обяза-

тельным. Формируемая в процессе работы над проектом команда специалистов после окончания университета представляет собой проблемно ориентированный «кадровый десант» на профильные фирмы или готовую бизнес-команду для организации собственного наукоемкого предприятия (см. <http://www.tusur.ru/ru/education/gpo>).

Весьма интересен опыт факультета инновационно-технологического бизнеса (ФИТБ) Российской академии народного хозяйства и госслужбы при Президенте России. На ФИТБ разработана технология обучения по программам мастер делового администрирования (МБА) на основе так называемого «базового проекта».

Известно, что обучение по программе МБА представляет собой совокупность отдельных курсов, выбранных в соответствии со стандартом обучения, которые никак не связаны между собой. Каждый преподаватель читает курс в соответствии со своим видением и предшествующим профессиональным опытом. В итоге читаемые курсы совершенно разрознены, обезличены, слабо нацелены на решение конкретных задач, а тем более – на реализацию проектов, поскольку каждый реальный проект требует комплексного использования знаний, полученный в рамках разных курсов. В результате слушатели не умеют применять полученные знания для решения задач.

Для качественного повышения уровня обучения на ФИТБ программа обучения строится на выборе и реализации базового проекта, т. е. инновационного инвестиционного проекта, для которого разработан план реализации, охватывающий весь жизненный цикл от начала (когда существует всего лишь идея, замысел) и до завершения, т. е. интервал времени 10–15 лет. Для каждого этапа жизненного цикла разработаны кейсы, соответствующие задачам, которые необходимо решать участникам инновационного проекта: например, на ранних этапах – это охрана интеллектуальной собственности, выбор организационно-правовой формы создаваемой компании, на более поздних этапах – формирование систем управления компанией, разработка бизнес-процессов и т. п. Всего разработано более 100 кейсов, относящихся к основным дисциплинам программы МБА. Преподаватели адаптируют часть своих курсов и примеров таким образом, чтобы слушатель мог использовать полученные знания на данном этапе проекта для решения конкретных задач. Таким образом, преподаваемые дисциплины привязаны к конкретному проекту и позволяют слушателю целенаправленно использовать различные инструменты для реализации проекта. Это позволяет увязать большинство изучаемых предметов в единую систему, повысить качество обучения и восприятия материала курсов слушателями.

По мнению авторов статьи, СФУ должен предложить свое решение в области подготовки кадров по системе элитного образования по магистерским программам на основе ГПО по единому проектно-процессному подходу обучения, т. е. использовать лучшие технологические достижения в области подготовки высококвалифицированных и конкурентоспособных специалистов на рынке труда, применяемые в ТПУ, ТУСУР и Российской академии народного хозяйства и госслужбы при Президенте России.

Это актуально именно для СФУ. Потому что в соответствии со стратегией и программой развития СФУ, уни-

верситет должен в ближайшие годы привести структуру выпуска по двухуровневой системе подготовки к такой, чтобы в общем числе выпускников бакалавры составляли порядка 60–70 %, а магистры – 30–40 %. Если учесть, что большинство университетов планируют структуру будущих выпусков как соотношение бакалавр/магистр, примерно равное 85/15, то это означает, что СФУ будут присущи значительные особенности. По экспертным оценкам университет (практически любой) для воспроизводства научно-педагогических кадров высшей квалификации должен ежегодно направлять в аспирантуру порядка 12–15 % своих выпускников, т. е. при выпуске 15 % магистров все выпускники магистратуры составят резерв аспирантуры, и для промышленности их подготовка осуществляться не будет. В случае СФУ не менее половины выпускников магистратуры должны быть подготовлены для работы в реальной экономике. Но в данном случае магистерская подготовка должна быть построена на принципах элитного образования по ориентированному на регионального работодателя учебным программам и высоким образовательным стандартам. Необходимо разработать механизм взаимодействия с основными работодателями на региональном рынке труда, позволяющий определять не только количественные потребности в выпускниках соответствующих направлений, но и формулировать как стандартные, так и ключевые компетенции выпускников под стратегии развития работодателей, в лице корпораций, профессиональных объединений для СМП, специализированных саморегулируемых организаций и т. д. Таким образом, должна развиваться маркетинговая функция университета, как в области образования, так и научно-исследовательской деятельности.

Под проектной технологией учебного процесса понимается, с одной стороны, управление подготовкой магистров для конкретной организации как отдельным периодически (или однократно) реализуемым проектом, с другой – сам процесс подготовки магистров для конкретной организации может быть построен по технологии группового проектного обучения, т. е. на реализации реального проекта, выполняемого по заказу и при участии организации-работодателя. Более того, в качестве одного из главных заказчиков, по количеству «потребляемых» выпускников магистратуры, должен рассматриваться сам университет с целью воспроизводства кадров профессорско-преподавательского состава.

Ни для кого не секрет, что основной инструмент развития – опыт, приобретаемый в ходе выполнения профессиональной деятельности, т. е. развитие включает в себя не только и не столько обучение в общепринятом представлении, сколько ниже перечисленные инструменты профессионального развития:

- наставничество непосредственного руководителя или специалиста в данной области и наставничество обучаемого при обучении других;
- расширение круга обязанностей, состава труда, переход на другой функционал;
- ротация, т. е. замещение руководителя или другого сотрудника;
- участие в реальных проектах.

Соответственно необходимо смоделировать такую ситуацию, при которой студенты будут получать обучение

при использовании всех перечисленных инструментов. Именно для этого из числа магистров, подготавливаемых по разным программам (направлениям), должны формироваться проектные команды, ориентированные на реализацию согласованных (лучше заказанных) конкретными работодателями проектов. Наставником может быть представитель заказчика. В рамках проекта команда должна обосновать реализацию проекта со всех возможных позиций, или даже реализовать его в течение срока своего обучения.

Работа проектной группы организуется как составная часть процесса подготовки магистров. Реализация идеи проходит все основные стадии НИОКР: от технического задания до опытного образца или партии. Индивидуальным учебным планом предусматривается изучение в процессе проектирования некоторых дисциплин, соответствующих содержанию проекта (включенное обучение), а также замена ряда учебных форм (курсовые, работы и проекты, практика, лабораторные работы и др.), соответствующей работой над проектом в рамках ГПО.

В процессе реализации проекта на пилотных группах на факультативной основе, его исполнители, столкнулись с проблемой обеспечения качественного управления проектными командами силами их кураторов из числа аспирантов и молодых ученых СФУ. Кафедрам оказалось достаточно трудно обеспечить работу студенческих команд и взаимодействие с работодателями и потенциальными заказчиками НИОКР. Стало очевидным, что эффективность выполнения проектов ограничена квалификацией руководителей проекта в части проектного управления. Сегодня явно недостаточно квалифицированных руководителей проектов, способных эффективно управлять инновационными, научно-исследовательскими и инвестиционными проектами. При реализации сложных проектов большое значение играет качество его управления. Квалификация руководителя проекта становится важнейшим фактором обеспечения эффективности процессов. От менеджера требуется виртуозное владение всем набором инструментов управления. В проектной деятельности наблюдается значительный дефицит квалифицированных управленцев, который усугубляется тем, что научные и образовательные учреждения не способны пока нанимать действительно квалифицированных менеджеров. В итоге проектная (коммерческая) деятельность осуществляется медленно и с большими издержками [3].

Как правило, проблема качественного управления решается за счет привлечения высококвалифицированных менеджеров со стороны и постоянного обучения персонала. Однако здесь возникают проблемы иного плана – все больше ощущается нехватка управленцев высокого уровня на рынке труда, к тому же они весьма дороги. Обучение же персонала очень часто оказывается недостаточно эффективным. Готовить проектного менеджера – долго и дорого. Прежде, чем он научится эффективно управлять, пройдет много времени, будут совершены ошибки, некоторые из них – смертельные для стартового проекта.

Проблема заключается в том, что подготовка управленческих кадров ведется по принципу обучения отдельным компонентам менеджмента и крайне редко – самой процедуре управления. Это связано и с отсутствием реального управленческого опыта у большинства вузовских преподавателей.

По этой причине почти никто и нигде не учит менеджера умению искать компромиссы между альтернативами, выстраивать свои управленческие действия во времени, исходя из складывающейся ситуации. В этой ситуации необходимо идти как по пути разработки инновационных подходов в системе высшего образования, так и разработки систем управления инновационно-технологическими проектами, менее критичных к квалификации управленца.

В направлении снижения требований к квалификации управленцев в области проектного управления целесообразен известный в мировой практике подход, основанный на регламентации и оптимизации бизнес-процессов проектной деятельности. Представление системы коммерциализации в виде процессов позволяет разбить сложную деятельность на достаточно простые компоненты и выстроить эти компоненты в виде заданной последовательности. В итоге оказывается возможным процесс коммерциализации представить в виде своеобразного конвейера, участники которого вынуждены выполнять определенную последовательность действий в соответствии с заданными правилами. Это дает целый ряд эффектов: работа из процесса превращается в целенаправленное движение, снижаются требования к квалификации персонала, резко возрастает производительность труда, снижается количество ошибок. Для реализации такого подхода необходимо разработать эффективную организационную структуру, систему управления финансами, обеспечить документооборот, т. е. детально сформулировать правила работы проектных команд, в основных чертах общие для всех проектов инновационной направленности. Руководители проектов будут погружены в готовую среду, которая заставит их работать по единым правилам, обеспечит необходимые прозрачность и управляемость. Все это можно реализовать на базе проектного офиса (ПО) организации. Основная цель разработки и внедрения нового структурного подразделения (проектного офиса) – координирование действий сотрудников и студентов, внешних участников процесса (потенциальных работодателей и заказчиков) по достижению целей проекта путем четкого распределения и закрепления полномочий и ответственности. Важной функцией ПО на начальной стадии проектного подхода является интеграция проектов. Интеграция – это принятие решений о том, где концентрировать ресурсы на каждую конкретную дату, предугадывание потенциальных проблем и их решение до того, как эти проблемы станут критическими, и хорошая координация работы проекта в целом. Интеграция подразумевает нахождение компромиссов между пересекающимися задачами проектов и альтернативами задачами.

Решение задач управления проектами обеспечивается пакетом нормативных документов в проектной организации, представляющим собой корпоративную систему управления проектами (КСУП). КСУП регламентирует порядок действий сотрудников и учащихся проектных подразделений организации (университета) при инициации, планировании, исполнении и завершении проектов. Методологической основой КСУП являются принципы и методы, заложенные в стандарты ISO 9001:2000 и PMBoK:2000 (PMI). Разрабатываемые коллективом авторов для СФУ положения и регламенты КСУП в соответствии с концепцией детализируют организацию отдельных аспектов [3].

По мнению авторов проекта, структуризация проектов в соответствии с изложенными принципами и процедурами уже на начальной стадии внедрения позволила существенно повысить эффективность управления проектами. При этом более качественное планирование проекта по единым правилам позволило существенно понизить требования к руководителям инновационных проектов. Проекты, управляемые молодыми учеными и аспирантами, показали устойчивое развитие и быстрый результат, что подтверждается признанием на федеральных этапах конкурсов инновационных проектов (Бизнес инновационных технологий 2010 г., Кубок Техинноваций 2010 г., программы СТАРТ и УМНИК Фонда «Содействие»). Однако для тиражирования полученного опыта необходимо культивировать проектный подход, принципы элитного образования и группового проектного обучения на стратегическом уровне университетов, а не в качестве инициативного проекта линейного руководящего персонала (заведующих кафедрами и руководителей научно-образовательных центров, коими являются авторы проекта) с их ограниченными ресурсами.

Внедрение идеологии элитного образования и проектного обучения на стратегическом уровне сталкивается с очередными противоречиями, требующими серьезной модернизации не только учебного процесса, но и изменений в системе управления, в той или иной степени, на всех уровнях. Но качественного изменения невозможно добиться, управляя процессами по старому. Согласовать процессы обучения можно только по всей цепочке подготовки кадров – от поступления в вуз, до подготовки кадров высшей квалификации (см. рисунок). В связи с этим весьма перспективной может быть давно обсуждаемая идея создания института фундаментальной подготовки (ИФП) или его аналога, как первичного «накопителя» студентов по укрупненным направлениям, например, техника и технологии, естественно-научное направление и т. д., с тем, чтобы провести профориентацию и специализацию студентов на протяжении первых двух лет обучения общепрофессиональных дисциплин.

Зачастую наблюдается ситуация, когда абитуриенты, поступая на какую-либо специальность, принимают неосознанные решения, а по мере обучения в университете либо осознано переводятся на более подходящие им специальности, либо доучиваются на ненужной для них специальности просто ради диплома о высшем образовании, что негативно отражается на качестве обучения. Общее для всех обучение на начальной стадии позволит выиграть время, чтобы получить более полную информацию об имеющихся в университете направлениях подготовки, оценить свои силы и возможности, и в итоге сделать обоснованный и продуманный выбор своей будущей специальности.

Современные рыночные тенденции заставляют производить мелкие партии с коротким жизненным циклом производства продукции, в случае университета – квалифицированных выпускников. При существовании ИФП жизненный цикл производства образовательного продукта, т. е. подготовки бакалавра, сократится до 2 лет (третий и четвертый год обучения). Это позволит более оперативно адаптироваться к изменениям конъюнктуры рынка труда. В целом двухуровневая система образова-

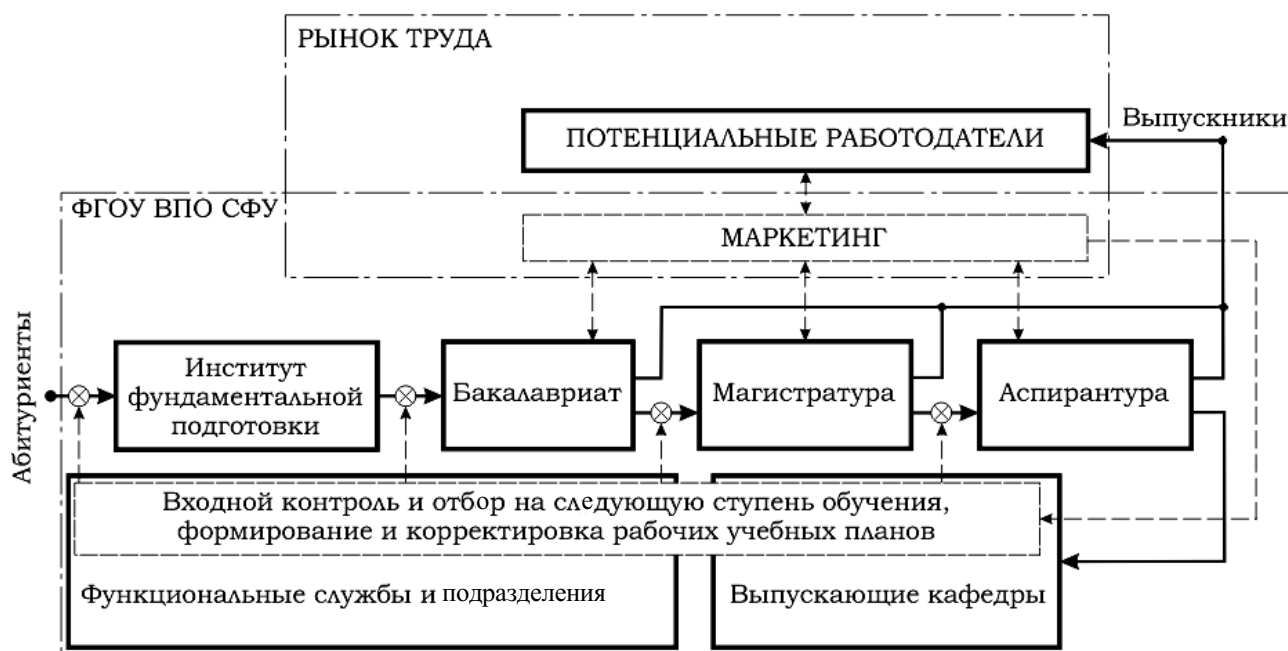
ния в этом плане выигрывает. Два года подготовки в ИФП, два года для подготовки бакалавра и два года для подготовки магистра дают возможность расставить шлюзы между этапами подготовки, как дополнительные рычаги регулирования и адаптации системы образования к внутренним и внешним процессам. Такой своеобразная система шлюзов позволит оценить качество работы на предыдущих этапах входным контролем на последующих.

Было бы целесообразно в рамках программы развития СФУ реализовать проект элитного образования в одном из институтов СФУ, чтобы локализовать риски и сконцентрировать ограниченные ресурсы на решении задачи создания нового образовательного продукта. Сформировать Систему элитного технического образования по аналогии с ТПУ и систему ГПО для магистрантов и аспирантов наиболее готовы подразделения энергетических направлений Политехнического института СФУ опи-

раясь на кадровый и научный заказ от МРСК Сибири, ТГК-13 и отделов главного энергетика промышленных предприятий Красноярского края. Полученный в результате реализации проекта опыт и отработанные регламенты и процедуры можно было бы распространить на другие институты СФУ и другие вузы.

Библиографические ссылки

1. Выход из кризиса: отказ от сырьевой модели. Новая индустриализация / А. Д. Голубович, А. Б. Идрисов, В. Л. Иноземцев и др. // Металлургия машиностроения. 2010. № 5. С. 2–11.
2. Воронцова И. П. Толкование диплома // Сфера влияния. 2010. № 9. С. 10.
3. Первушин В. А. Практика управления инновационными проектами. М. : Дело, 2010.



Многоуровневая система подготовки кадров в тесном взаимодействии с основными заказчиками – потенциальными работодателями на местном рынке труда

T. A. Boyakova, E. A. Golovenko, V. I. Pantelev, V. A. Pervushin

MODERNIZATION OF EDUCATIONAL SYSTEM IS ONE OF THE KEY FACTORS FOR DEVELOPMENT OF RUSSIAN ECONOMY

The article was prepared as a result of a project «Decision of personnel problem in the system of commercialization of scientific-technical design and support of innovation development of Krasnoyarsk region on the basis of group design training technology», which was realized in 2010 by FSEFHPE «Siberian Federal University» on request of KSAM «Krasnoyarsk regional fund of support of scientific and scientific-technical activity». The work is devoted to questions of regulation of mechanisms of cooperation of IHL with regional business in the field of elite education for masters on the project model and realization of joint R&D and innovation-technical activity.

Keywords: social-economic development of the state, high professional education, efficiency of business process, elite education, training for master's degree, group design training, project office, corporative standard of project management.

© Боякова Т. А., Головенко Е. А., Пантелеев В. И., Первушин В. А., 2010

Е. Б. Бухарова, Л. К. Витковская, И. А. Межова, А. Р. Семенова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ АСИММЕТРИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО И СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ)*

Рассматривается возможность использования в качестве индикаторов при оценке асимметрии экономического и социального развития территорий модифицированного показателя «индекс развития человеческого потенциала». Расчеты проведены на основании данных муниципальных образований Красноярского края.

Ключевые слова: асимметрия развития, индекс развития человеческого потенциала.

Неравномерность (асимметрия) развития отдельных территорий не определяется только как следствие экономических, социальных и политических процессов, происходящих в обществе в настоящее время. С одной стороны, асимметрия есть результат исторически сложившихся тенденций развития территориальных образований, размещения производительных сил в пространстве государств; с другой – наличия экономического и социального потенциалов, их востребованности обществом в прошлом, настоящем и ближайшем будущем.

Экономический рост во многих странах мира, по мнению большинства ученых (экономистов, социологов, политологов и пр.), может быть обусловлен вложениями в человеческое развитие [1–4], в его потенциал. Ключевыми условиями развития человеческого потенциала в соответствии с Декларацией тысячелетия ООН признаны (см.: UNDP, 2003. Р. 28; ПРООН, 2005б. С. 221): достойный уровень жизни, образование, равноправие (в том числе гендерное), долгая и здоровая жизнь, экологически устойчивый рост, благоприятные глобальные экономические условия. Количественный расчет данных индикаторов позволяет не только осуществлять сравнение отдельных территорий, но и выстраивать траекторию их социально-экономического развития.

В ряде проведенных авторами исследований был выполнен анализ уровня социально-экономического развития муниципальных районов и городов Красноярского края [5; 6]. При этом при проведении анализа удерживались две составляющие в соответствии со стратегической целью развития региона: оценка промышленного потенциала и динамики экономического развития территории, с одной стороны, и оценка качества и уровня жизни населения, с другой. На основе анализа были рассчитаны комплексные индикаторы уровня экономического развития и уровня социального развития каждого муниципального образования [5]. В настоящей статье сделаем акцент на оценке уровня асимметрии социального развития, на его отражении неравномерности (асимметричности) в социально-экономическом развитии территориальных образований Красноярского края.

В методику расчета сводного индекса экономического развития были включены оценки: уровня развития про-

мышленности, уровня развития сельского хозяйства, динамики инвестиционных процессов, сводного финансового индекса территории, природного потенциала.

При расчете сводного индекса социального развития также были включены оценки уровня развития отраслей социальной сферы, уровня социальной напряженности в районе, уровня развития человеческого потенциала, композиционного индекса уровня доходов населения.

Индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП) является, с одной стороны, обобщающим показателем, с другой – индикатором сравнения. ИРЧП статистически рассчитывается по методике ООН для межстранового сравнения, в России также для субъектов РФ. При его определении используется показатель ВВП (ВРП) на душу населения в долларах США, уровень образованности населения, а также средняя продолжительность жизни. В случае России первая составляющая индикатора индекса развития человеческого потенциала рассчитывается для экономики РФ в целом (ВВП) и для региона-субъекта РФ (ВРП), вторая – по данным всероссийской переписи населения, периодичность проведения которой часто не позволяет отслеживать ситуацию в режиме мониторинга. Кроме того, из перечня вопросов переписных листов может быть исключена информация о размерах доходов населения, как это произошло при переписи населения, проводившейся в 2010 г. Поэтому методика не позволяет сделать расчет данного индикатора для муниципальных образований, для последних исследователями используется модифицированный индикатор.

Составляющими показателя «уровень развития человеческого потенциала» в наших расчетах явились достойный уровень жизни, образованность и продолжительность жизни населения. Индикаторы были рассчитаны на основе информационной базы муниципальной статистики – паспорт территории.

Оценка «достойного уровня жизни» (I_{ij}) при расчетах может включать в себя:

- объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами – разделы ОКВЭД А, В, С, D, E; без субъектов малого предпринимательства;
- расходы бюджета муниципального образования на функционирование местных администраций;

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

– расходы бюджета муниципального образования на образование;

– расходы бюджета муниципального образования на здравоохранение и спорт.

Такой состав компонент был выбран для того, чтобы данный индикатор по составу имеющейся информации в паспортах территорий максимально соответствовал показателю валовой региональный продукт, определяемый статистически.

«Образованность» (I_{2i}) рассчитывалась через следующие составляющие компоненты:

– численность обучающихся во всех образовательных учреждениях;

– численность лиц, имеющих профессиональное образование и занятых в экономике, по данным переписи 2002 г.

Данная информация наиболее полно в разрезе муниципальных образований представлена как в паспортах территорий (первая компонента), так и по информационным источникам результатов переписи населения (вторая компонента).

«Продолжительность жизни» (I_{3i}) выступает одним из показателей отчетности муниципальных образований согласно паспорта территории, что во многом облегчает работу исследователей.

В качестве способа расчета показателей «достойный уровень жизни» (I_{1i}) и «продолжительность жизни» (I_{3i}) нами была выбрана следующая методика:

$$I_{1, 3i} = \frac{D_{\text{факт}i} - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}}, \quad (1)$$

где $D_{\text{факт}i}$ – фактическое значение показателя по i -му муниципальному образованию; $D_{\max}$ – максимальное значение показателя по всем муниципальным образованиям; $D_{\min}$ – минимальное значение показателя по всем муниципальным образованиям.

Показатель «образованность» (I_{2i}) рассчитывается следующим образом:

$$I_{2i} = \frac{2}{3} \cdot O_{1i} + \frac{1}{3} O_{2i}, \quad (2)$$

где O_{1i} – доля лиц, имеющих профессиональное образование и занятых в экономике, в общей численности занятых в экономике в возрасте 15 лет и более по данным переписи населения i -го муниципального образования; O_{2i} – доля лиц, обучающихся во всех образовательных учреждениях (общего среднего и профессионального образования), в среднегодовой численности постоянного населения i -го муниципального образования по паспорту территории.

Общий индекс развития человеческого потенциала по муниципальному образованию определяется:

$$\text{ИРЧП} = \frac{I_{1i} + I_{2i} + I_{3i}}{3}. \quad (3)$$

Распределение муниципальных образований по индикатору ИРЧП в соответствии с нашими расчетами представлен на рис. 1. Распределение муниципальных образований осуществлено относительно медианного значения показателя индекса развития человеческого потенциала по краю.

Сводный индекс социально-экономического развития рассчитывался путем усреднения индекса экономического развития и индекса социального развития. Анализ индексов экономического, социального и социально-экономического развития показывает большую дифференциацию (асимметрию) в уровнях развития муниципальных районов и городов края. На основе этих индексов была проведена группировка муниципальных образований в пять групп: к первой группе были отнесены, так называемые, «районы-лидеры», ко второй – перспективные районы, к третьей – районы со средним уровнем развития («середняки»), к четвертой – районы с уровнем развития ниже среднего, к пятой – проблемные районы.

В группу регионов лидеров по социальному развитию вошло пять муниципальных районов (Емельяновский, Богучанский, Таймырский (Долгано-Ненецкий),

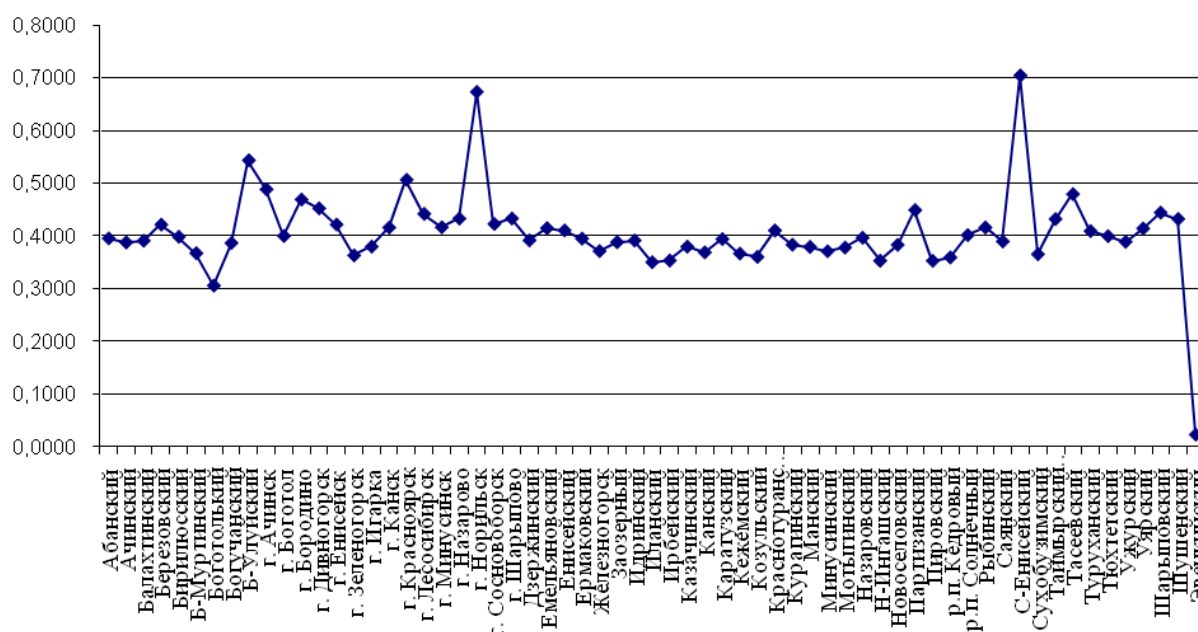


Рис. 1. Дифференциация муниципальных образований Красноярского края по показателю «ИРЧП»

Шушенский и Северо-Енисейский), восемь городов (Красноярск, Минусинск, Норильск, Канск, Шарыпово, Ачинск, Дивногорск и Бородино) и два ЗАТО (Зеленогорск и Солнечный).

В группу перспективных районов вошло два ЗАТО (Железногорск и Кедровый), шесть городов (Заозерный, Сосновоборск, Назарово, Енисейск, Игарка и Лесосибирск) и девять муниципальных районов (Березовский, Иланский, Рыбинский, Балахтинский, Большеулуйский, Тухтетский, Ужурский, Кежемский и Туруханский). Как видно, города по уровню социального развития вошли в группу лидеров либо перспективных районов.

В группу районов с уровнем развития ниже среднего и проблемных районов вошли только муниципальные районы. При этом, если город демонстрирует высокий уровень социального развития, то в прилегающем районе наблюдается значительный разрыв. Так, например:

- город Канск является лидером по индексу социального развития, а Канский район относится к отстающей группе;
- город Назарово относится к перспективным регионам, а Назаровский район к отстающим;
- город Минусинск входит в группу районов лидеров, а Минусинский район в группу регионов со средним уровнем развития;
- город Енисейск – перспективный район, а Енисейский район входит в группу по рангу ниже – группу регионов со средним уровнем развития;
- город Ачинск – регион-лидер, Ачинский район – с уровнем развития ниже среднего;
- город Шарыпово – регион-лидер, Шарыповский район относится к группе регионов со средним уровнем развития.

Исключением являются город Боготол и Боготольский район, которые попали в группу отстающих и проблемных районов. Также в группу отстающих и проблемных районов по социальному уровню развития попали девять из двенадцати муниципальных образований с малой численностью населения (менее 15 тыс. чел.).

В группу лидеров по экономическому развитию вошли четыре города (Красноярск, Дивногорск, Лесосибирск и Норильск) и восемь муниципальных районов. При этом наибольшее значение сводного индекса экономического развития имеют Емельяновский, Березовский, Ужурский, Северо-Енисейский районы и города Лесосибирск, Норильск и Красноярск.

В группе перспективных районов четыре города и семь районов. При этом город Назарово и Назаровский район, город Минусинск и Минусинский район вошли в одну группу.

В группу районов со средним уровнем развития вошли два ЗАТО (города Железногорск и Зеленогорск), два муниципальных района – бывшие автономные округа (Таймырский и Эвенкийский муниципальные районы), два города (Бородино и Шарыпово) и шесть муниципальных районов (Иланский, Ирбейский, Манский, Новоселовский, Краснотуранский и Шушеский).

Группа районов с уровнем развития ниже среднего объединяет два города и одиннадцать районов.

Наиболее отсталую группу проблемных районов составили два ЗАТО (Кедровый и Солнечный), один город (Игарка) и двенадцать районов.

Также была проведена двухмерная группировка муниципальных образований и городов по сводным индексам социального и экономического развития (рис. 2).

Районы с наиболее благоприятными условиями социально-экономического развития располагаются в I квадранте, с наименее благоприятными (неблагополучными) условиями социально-экономического развития – в третьем.

В группу районов с высоким уровнем экономического и социального развития вошло одиннадцать муниципальных районов и десять городов. При этом наиболее высокий уровень социально-экономического развития имеют Северо-Енисейский, Большеулуйский, Березовский, Ужурский, Емельяновский районы. Из городов лидерами являются Лесосибирск, Норильск и Красноярск. Эти районы в перспективе имеют не только высокий потенциал экономического роста, но и возможности для привлечения квалифицированных трудовых ресурсов, так как обеспечивают хорошее качество жизни и среды обитания.

В группу районов с высоким уровнем экономического и низким уровнем социального развития вошли двенадцать районов. При этом наиболее высокий уровень экономического развития имеют Шарыповский, Канский, Курагинский, Курагинский, Минусинский и Нижнеингашский районы. Разрыв между экономическим и социальным потенциалами этих районов может не позволить в будущем привлекать и «закреплять» квалифицированные кадры на территории. И чем ниже уровень социального развития муниципального образования, тем выше вероятность усиления на территории миграционных оттоков населения.

В группу районов с низким уровнем экономического развития и высоким уровнем социального развития вошли три муниципальных образования – ЗАТО (Кедровый, Зеленогорск, Солнечный), четыре города (Сосновоборск, Заозерный, Енисейск, Игарка), три муниципальных района (Туруханский, Тухтетский, Балахтинский). При этом наиболее низкий уровень экономического развития в Тухтетском районе, городе Игарка и поселке Кедровый, а наибольший уровень социального развития – в ЗАТО Солнечный, городе Сосновоборске и Туруханском районе. При расчете социальных показателей использовались значения «на душу населения» в регионах с высоким уровнем миграции в анализируемый период при сохранении сети объектов социальной инфраструктуры.

В группу районов с низким уровнем экономического развития и низким уровнем социального развития вошли двадцать районов. Наихудшее положение по социально-экономическому развитию в Бирилюсском, Дзержинском, Казачинском, Тасеевском, Ачинском, Партизанском, Козульском, Большемурутинском районах.

Общий анализ группировок районов по уровню экономического и социального развития позволяет сделать выводы.

1. В Красноярском крае наблюдается высокий уровень дифференциации городов и районов, как по уровню экономического развития, так и по уровню социального развития. При этом большинство городов и ЗАТО края занимают лидерские позиции в уровне социального развития, также высокий уровень социального развития имеют муниципальные образования на Севере (Кежемс-

кий, Северо-Енисейский, Таймырский муниципальный районы).

2. По уровню экономического развития в группу регионов-лидеров и перспективных регионов включены города с прилегающими районами (города Минусинск, Канск); муниципальные образования, входящие в черту большого Красноярска (Березовский, Емельяновский районы, город Дивногорск); северные районы, имеющий в настоящее время высокий индекс промышленного развития (город Норильск, Северо-Енисейский, Богучанский, Кежемский районы). Также представлены города и районы, входящие в ареал КАТЭ-Ка (города Ачинск, Шарыпово), и сельскохозяйственные районы юга края (Минусинский, Курагинский районы).

3. Приходится констатировать, что более 45 % районов и городов края относятся к проблемным и отстающим районам по уровню экономического развития.

4. Большой интерес вызывает группа районов со средним уровнем развития. Среди них можно выделить:

– северные районы – Таймырский МР и Эвенкийский МР, которые имеют высокий природно-ресурсный потенциал развития;

– города ЗАТО, у которых также имеется высокий инновационно-промышленный потенциал развития;

– группа южных районов с высоким потенциалом сельскохозяйственного развития (Краснотуранский, Новоселовский, Шушенский).

5. Анализ состояния социально-экономической сферы муниципальных образований и значения частных индексов, на основе которых были рассчитаны сводные индексы социально-экономического развития, показывает следующее:

- в большинстве районов происходит депопуляция населения за счет высокого уровня смертности, низкого уровня рождаемости и отрицательного сальдо миграции населения;

– 1/3 миграционного оттока населения из районов края уходит за пределы края, 2/3 оседает в центральных районах и городе Красноярске, при этом наибольшая подвижность наблюдается у сельского населения в направлении городов;

– происходит старение населения в районах, возрастает нагрузка на трудоспособное население;

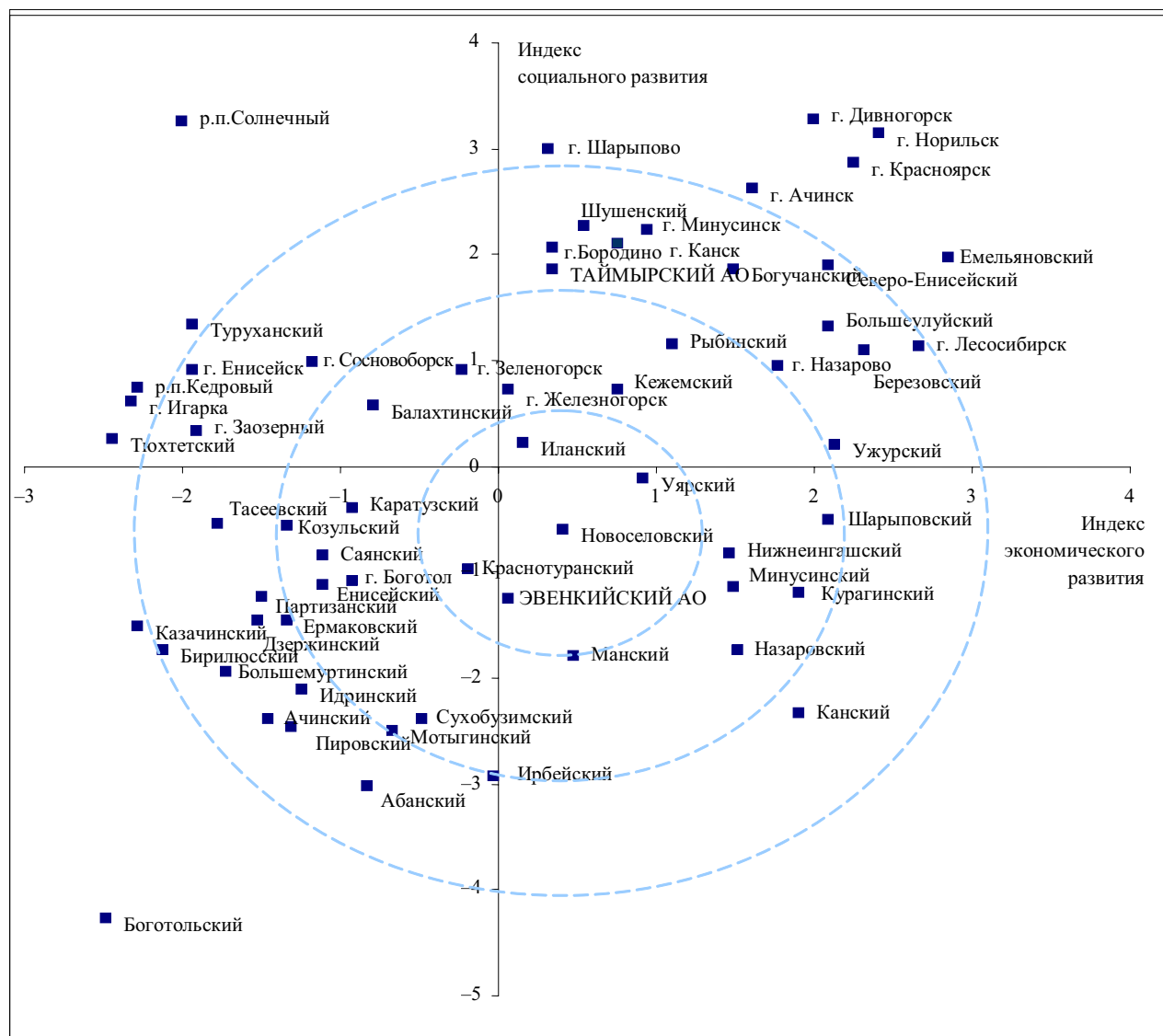


Рис. 2. Двухмерное распределение муниципальных образований по относительным к среднекрасовому уровням экономического и социального развития

- уровень доходов в большинстве районов, кроме северных, в разы ниже, чем в среднем по краю;
- наблюдается тревожная тенденция увеличения доли социальных трансфертов в структуре доходов населения;
- упорядочивание межбюджетных отношений в части выравнивания уровня бюджетной обеспеченности при слабой доходной базе большинства районов привел к тому, что в муниципальных образованиях существует высокий уровень дотационной зависимости;
- низкий уровень экономического развития городов и районов края в значительной степени связан с низким уровнем производительности в отраслях, изношенностью основных фондов и производственной инфраструктуры, низким уровнем конкурентоспособности выпускаемой продукции, низким уровнем анализа как внутреннего, так и внешнего рынка, преобладанием иждивенческого настроения как у трудоспособного населения, так и в целом в муниципальном образовании.

Асимметрия социально-экономического и промышленного развития территорий Красноярского края также формирует значительную дифференциацию в развитии крупных макрорайонов региона и требует дифференцированного подхода при выборе инструментов промышленной политики.

Сделанный анализ асимметрии социально-экономического развития (включая его составляющие компоненты) может быть использован для обоснования возможности интенсивного развития муниципальных образований, формирования промышленной политики регионов, оценки привлекательности территорий для привлечения трудовых ресурсов.

Библиографические ссылки

1. Исследования Новосибирской экономико-социологической школы / отв. ред. Т. И. Заславская, З. И. Калугина, О. Э. Бессонова ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т экон. и орг. пром. пр-ва. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. С. 281–298.
2. Беккер Г. С. Человеческое поведение: экономический подход. Избранные труды по экономической теории : пер. с англ. / под ред. Р. И. Капелюшника, М. И. Левина. М. : ГУ ВШЭ, 2003.
3. Ионова В. Д., Малов В. Ю. Изучение проблемных территорий и процессов формирования территориально-производственных комплексов // Оптимизация территориальных систем / под ред. С. А. Суспицына. Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2010. С. 13–20.
4. Воробьева В. В., Ионова В. Д., Малов В. Ю. Обоснование схем территориального планирования региона: старые задачи на новом этапе // Оптимизация территориальных систем / под ред. С. А. Суспицына. Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2010. С. 470–497.
5. Концепция пространственного социально-экономического развития Красноярского края до 2017 г. : моногр. / Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2008.
6. Региональная социально-экономическая система: территориальное планирование и управление развитием (на примере Красноярского края) : моногр. / Е. Б. Бухарова, В. Г. Безгачев, В. В. Желиховская и др. ; Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2009.

E. B. Buharova, L. K. Vitkovskaya, I. A. Mezheva, A. R. Semenova

USE OF SOCIAL DEVELOPMENT INDICATORS FOR EVALUATION OF ASYMMETRY IN SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF TERRITORIES (ON THE EXAMPLE OF MUNICIPAL AREAS OF KRASNOYARSK REGION)

The paper considers possibility to use territories of modified indicator «the index of human potential development» as the indicators for evaluation of asymmetry in social and economic development of territories. Estimations are made on the basis of data of municipal areas of Krasnoyarsk region.

Keywords: development asymmetry, human potential development index.

© Бухарова Е. Б., Витковская Л. К., Межева И. А., Семенова А. Р., 2010

М. П. Головин, А. Л. Встовский, Е. А. Спирин, К. А. Федий, Л. Н. Головина

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ*

Рассмотрена возможность электрификации труднодоступных районов с помощью свободнопоточных микроГЭС, для компонентов которых разработаны математические модели, проверена их адекватность стендовыми и натурными испытаниями; разрабатывается интегрированная среда проектирования и конструирования.

Ключевые слова: свободнопоточная микроГЭС, низкоскоростной синхронный генератор, ортогональная турбина, CAD, CAE, CAM.

В связи с интенсивным освоением природных ресурсов, удаленностью населенных пунктов от централизованных источников электроснабжения, в Сибирском регионе сложился большой дефицит энергетических мощностей на значительной части территории Красноярского края. Удовлетворить потребности в электроэнергии средствами большой энергетики в ряде случаев экономически и технически нецелесообразно. Эта проблема для ЖКХ и малых сельхозпредприятий может быть решена развитием малой энергетики с использованием богатых водных ресурсов.

Варианты использования водных ресурсов для этой цели: низконапорные, деривационные, свободнопоточные микроГЭС. Первые два типа микроГЭС позволяют генерировать мощности до 200 кВт, но реализуются по индивидуальным проектам с выполнением большого объема работ по возведению плотины и (или) сооружению рукава. Это значительно увеличивает стоимость и сроки реализации проекта, часто приводящего к экологическому ущербу.

Свободнопоточные микроГЭС не наносят экологического ущерба, имеют минимальную стоимость 1 кВт установленной мощности и 1 кВт·ч производимой энергии, мобильны, практически не требуют земляных работ.

Нашим коллективом разработана конструкция свободнопоточной погружной микроГЭС [1], в качестве базовых элементов которой используются низкоскоростной синхронный генератор (НТСГ) новой конструкции [2] и ортогональная турбина, обладающая большей удельной мощностью и быстроходностью. Применение этих двух агрегатов позволяет осуществить прямой привод от турбины, что обеспечивает надежную работу погружной микроГЭС. Этот тип изделия, преобразующего кинетическую энергию свободного потока воды в электроэнергию, имеет свою нишу на рынке, обусловленную его гидрологическими и техническими возможностями.

Рынок микроГЭС. Характеристики ниши свободнопоточных микроГЭС следующие: единичная мощность – до 50 кВт, скорость потока воды – не менее 1,6 м/с, глубина в месте установки – не менее 1,8 м (при ледоставе – до нижней кромки льда), ширина водного потока в месте установки – не менее 2,5 м при указанной глубине, расстояние потребителя от места установки – до 200 м.

Комплекс предварительных маркетинговых и гидрологических исследований в Красноярском крае и Респуб-

лике Алтай, выполненный коллективом в 2005–2009 гг., позволил оценить параметры рынка микроэнергетики, необходимые для определения наиболее востребованных мощностей и масштабов производства нового продукта – погружных свободнопоточных микроГЭС с динамикой их выпуска по годам.

В Красноярском крае неэлектрифицированы и недостаточно электрифицированы Северная, Приангарская, Южная группы районов. Дефицит электроэнергии здесь составляет не менее 50 %. Неудовлетворенная потребность в электроэнергии по Нижнему Приангарью составляет на данный момент до 150 МВт, а с учетом тенденций развития региона – до 500 МВт.

Республика Алтай привлекательна для инвестиций и располагает 2/3 всех гидроресурсов Западной Сибири, гидроэнергетический потенциал региона оценивается в десятки миллиардов кВт·ч в год. В то же время Республика Алтай – один из немногих регионов РФ, который не производит в заметных количествах электроэнергию, и уже ощущает ее дефицит, особенно в зимние месяцы максимума потребления электроэнергии [3].

Несмотря на различия в энергоснабжении, этим двум регионам, как и всему Сибирскому региону, присуща общая проблема [4] – наличие большого числа неэлектрифицированных и недостаточно электрифицированных населенных пунктов.

Для этих условий необходимо развитие малой гидроэнергетики. Суммарная потребность в электроэнергии, которая может быть удовлетворена за счет внедрения объектов малой гидроэнергетики, в частности, микроГЭС, в Красноярском крае и Алтайском регионе, составляет от 529 до 578 МВт.

Однако далеко не всякое речное русло обеспечивает необходимые гидротехнические показатели, соответствующие требованиям установки агрегата. Поэтому необходимо выявить места конкретных установочных точек вида «река – населенный пункт», для установки свободнопоточных микроГЭС с учетом требований к ним, изложенных в статье.

Исследования выполнены по рекам Красноярского края, республикам Хакасия, Тува и Алтай.

Решающим критерием отбора объекта является его доступность: наличие автодорог и (или) возможность, сроки доступа к нему речным путем (по данным Енисей-

* Работы в 2010 г. выполнялись по проекту № КФ56 КГАУ ККФПНИНТД.

ского речного пароходства) для доставки изделия к месту установки.

В Ермаковском районе находится уникальный природный парк «Ергаки». Важнейшей задачей при развитии парка является энергообеспечение хозяйственных объектов и инфраструктуры природного парка (ПП) «Ергаки» автономными энергоустановками при обеспечении экологической безопасности. Решая эту задачу, можно в ПП создать демонстрационную зону использования экологически чистых источников энергии: свободнопоточных и деривационных микроГЭС, ветроэнергоустановок.

Экономическая целесообразность выбора как типа микроГЭС, так и ее основных параметров, может быть оценена по разработанным коллективом расчетным моделям, после локализации мест установки и требований заказчика по прогнозируемому энергопотреблению.

В результате многолетних исследований коллективом созданы математические модели рабочих процессов: гидродинамики ортогональной турбины и ее энергетики, электромагнитных процессов в НТСТГ, **работоспособности изделия. Без реализации этого этапа невозможно проектирование микроГЭС для конкретных условий.**

Синтез параметров турбины. Для условий свободного потока лучшим КПД и достаточно высокой энергетикой при простоте конструкции обладает ортогональная турбина. В ортогональной турбине скорость движения лопасти в несколько раз превышает скорость набегающего на нее потока.

Структурная схема математической модели приведена на рис. 1.

Математическая модель энергетики и кинематики ортогональной гидротурбины представляет собой совокупность аналитических методов, реализованных программно, и численных методов, реализованных в ANSYS

CFX. Она позволяет синтезировать по потребляемой мощности и гидрологии потока, рассчитать основные параметры турбины, а затем оптимизировать геометрию лопастей.

Энергетические характеристики турбины зависят от сил, действующих на ее лопасти. Разработанная математическая модель основана на определении тянущей силы лопасти, возникающей вследствие наклона вектора подъемной силы крыла по отношению к ее хорде при ненулевых углах атаки.

Коэффициенты лобового сопротивления C_x , подъемной силы C_y , аэродинамического момента C_m смещения центра давления C_d определяются углом атаки α . По результатам численных экспериментов в Ansys CFX (рис. 2) определяются сила лобового сопротивления F_x , подъемная сила лопасти F_y , аэродинамический момент M_z .

Коэффициент тянущей силы C_t с учетом фактического положения центра давления определяется следующим образом:

$$C_t = \frac{R_d}{R} (C_y \sin(\alpha - \gamma - \beta) - C_x \cos(\alpha - \gamma - \beta)), \quad (1)$$

где R – радиус вектор, определяющий положение центра хорды в полярной системе координат, связанной с осью вращения турбины; R_d – радиус-вектор, определяющий положение центра давления в полярной системе координат, связанной осью вращения турбины; γ – угол между R_d и R .

Определение энергетических характеристик турбины по этой методике сводится к вариации U в заданном диапазоне и определению коэффициента мощности:

$$C_n = \frac{C_t \cdot U \cdot W^2 \cdot S_l}{V^2 S_l}. \quad (2)$$

Объединив уравнение движения ортогональной турбины с результатами численного моделирования процесса



Рис. 1. Структура математической модели энергетики ортогональной турбины

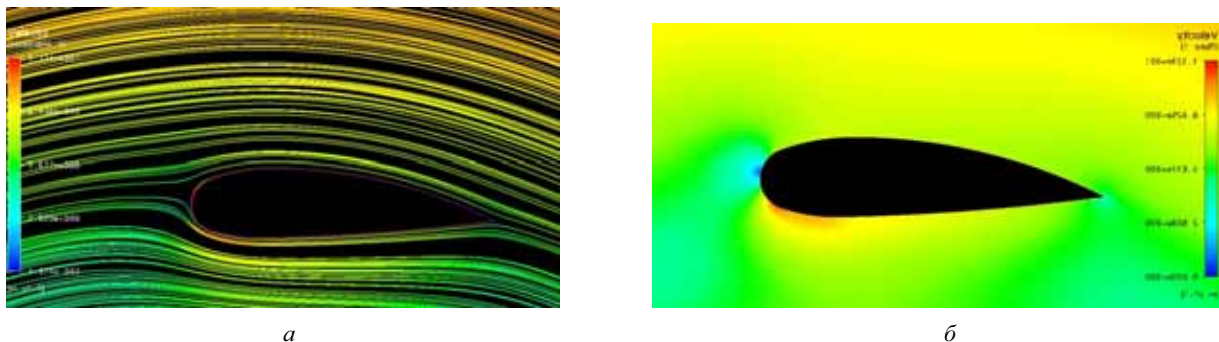


Рис. 2. Моделирование взаимодействия потока с лопастью в Ansys CFX: а – линии тока; б – поле скоростей

обтекания крыла, приходим к выводу, что эффективность работы крыла зависит от режима работы турбины.

Энергетическая эффективность турбины зависит от сочетания геометрических характеристик турбины, скорости реки и геометрии профиля лопасти. Выбор оптимальной комбинации этих параметров, как показали исследования, наиболее эффективен с применением генетического алгоритма [5].

Задача формализована так, что ее решение кодируется в виде *вектора* генов параметров лопасти ортогональной турбины, включающего длину хорды лопасти, максимальную толщину профиля, вогнутость профиля, размах крыла, положение максимальной толщины, ординаты точек верхнего и нижнего контуров профиля.

Задача поиска оптимального профиля формулируется как задача нахождения максимума функции приспособленности $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, описывающей мощность турбины.

Входными параметрами генетического алгоритма оптимизации профиля лопасти турбины, являются массив профилей крыла, каждый элемент которого это набор точек, описывающих геометрию профиля; доступное для поиска оптимального решения время либо требуемое значение коэффициента отбора мощности турбины; выходной поток данных модуля проектирования ортогональной турбины. Выходной поток данных – модифицированный набор точек геометрии лопасти.

В созданной среде автоматизированного моделирования рабочих процессов ортогональной турбины с использованием расчетных моделей в среде ANSYS CFX выполнен комплекс численных экспериментов по улучшению характеристик профиля лопасти и траверсы турбины, позволивший существенно повысить ее удельную мощность и устойчивость в режиме перегрузок.

Синтез параметров генератора. Особенностью свободнопоточной микроГЭС является низкая частота вращения турбины, определяемая скоростью свободного

потока воды в пределах 60–150 об/мин. Промышленность не выпускает ни обычных, ни герметичных генераторов мощностью до 50 кВт с такой частотой вращения.

Потребительские свойства микроГЭС во многом реализуются за счет НТСГ. Основные конструктивные особенности НТСГ: увеличение числа полюсов до 60, возбуждение от постоянных магнитов неодим–железо–бор больших энергий, надежная обмотка с рядовой укладкой проводников и изоляцией типа «монолит», сдвоенная конструкция с разделенным статором. Все эти решения привели к снижению массогабаритных характеристик генератора и позволили применить эффективные технологии изготовления и сборки.

Отправным пунктом синтеза параметров НТСГ является создание математической модели электромагнитных процессов в нем, необходимой для поиска эффективного сочетания параметров генератора. В этой модели должны быть явно выражены функциональные взаимосвязи геометрических параметров генератора и его выходных характеристик [6].

Основа модели генератора – развертка машины с постоянными магнитами, пятизонная расчетная модель, а также общие решения уравнений магнитостатики для дискретно-однородной полосы с постоянными магнитами (рис. 3).

По полученным в [6] значениям магнитных индукций возбуждения B_{2y} и реакции якоря B_{3y} с учетом их пространственного сдвига на угол нагрузки Θ уравнение фазного тока статорной обмотки определится:

$$I_{\phi} = \frac{j \cdot \omega \cdot W_{\phi} \cdot B_{2y} \cdot l_{\delta} \cdot \tau}{r_1 + j \cdot x_{\text{л}} + j \cdot \omega \cdot W_{\phi} \cdot l_{\delta} \cdot \tau \cdot u_{\text{псл}} \cdot (Y - X + Z) - z_{\text{н}}} \cdot (3)$$

Числитель в выражении (3) представляет собой ЭДС магнитного поля ротора, тогда как синхронное индуктивное сопротивление имеет вид

$$x_d = j \cdot \omega \cdot W_{\phi} \cdot l_{\delta} \cdot \tau \cdot u_{\text{псл}} \cdot (Y - X + Z) + j \cdot x_{\text{л}} \cdot (4)$$

Основной характеристикой синхронного генератора с постоянными магнитами является зависимость выход-

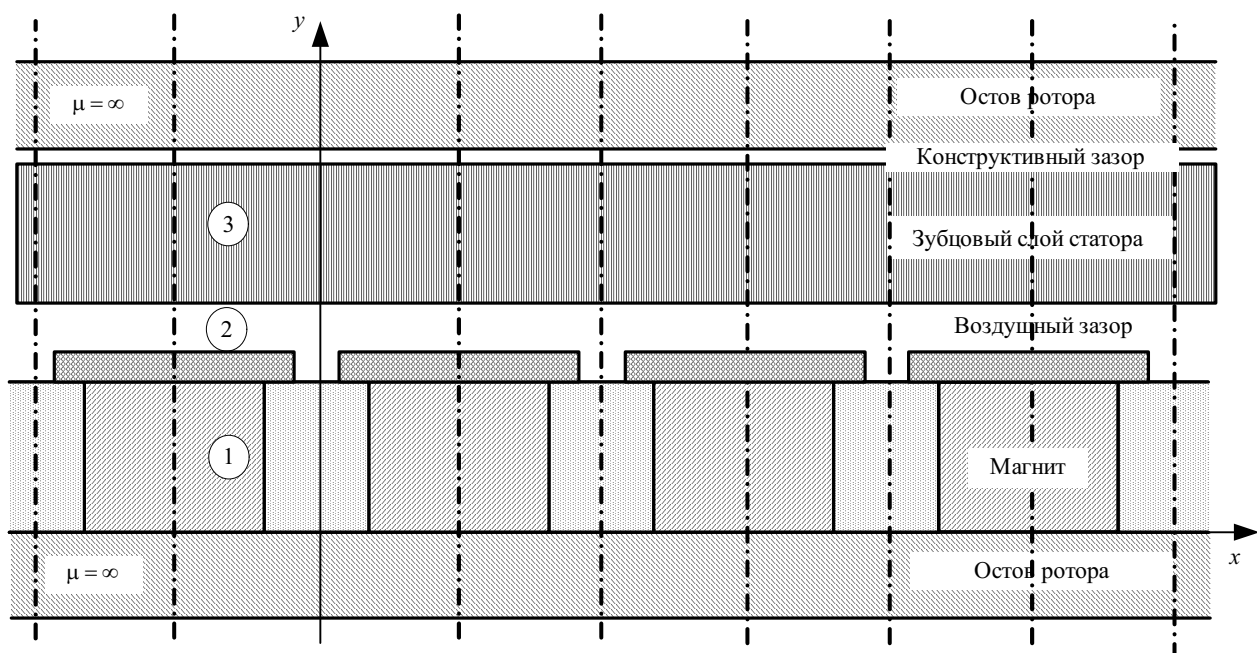


Рис. 3. Расчетная модель активной части генератора

ного напряжения генератора от тока якоря при постоянной угловой скорости вращения ротора и характере нагрузки ($U = f(I)$ при $\Omega = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$). Выражение для фазного тока (4) позволяет получить внешнюю характеристику генератора. Внешняя характеристика генератора $P = 1$ кВт представлена на рис. 4.

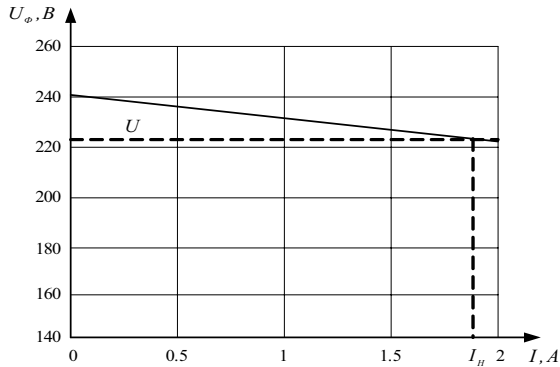


Рис. 4. Внешняя характеристика

Электромеханическая мощность, развиваемая ротором синхронной машины с беспазовым статором, равна приращению действительной части потока вектора Пойнтинга при переходе через границу ротор – воздушный зазор. После подстановки в выражение магнитной индукции реакции якоря и фазного тока (4) уравнение примет вид

$$P = 2p \cdot l_{\delta} \cdot v \cdot \operatorname{Re} \int_0^b \mu_0 \cdot u_{\text{псл}} \times \\ \times \frac{j \cdot \omega \cdot W_{\phi} \cdot B_3 y \cdot \tau \cdot l_{\delta}}{r_l + j \cdot x_l + j \cdot \omega \cdot W_{\phi} \cdot S \cdot \mu_0 \cdot u_{\text{псл}} \cdot Y \cdot (X + Z) - z_H} \times \\ \times Y \cdot (X + Z) \cdot \sin \left(\frac{\pi \cdot b}{\tau} + \Theta \right) \cdot H dx. \quad (5)$$

Уравнение (5) позволяет анализировать влияние геометрических параметров на перегрузочную способность генератора.

Разработанная математическая модель обеспечивает хорошую сходимость расчетных и экспериментальных характеристик проектируемого генератора, позволяет добиться снижения массы и габаритов, повышения жесткости внешней характеристики.

Результаты стендовых испытаний образцов НТСГ доказали их работоспособность, соответствие техническим условиям (рис. 5). Очевидные резервы повышения эффективности НТСГ: увеличение сечения магнита при оптимальном его размещении в ограниченном пространстве; снижение пазового рассеяния.

Необходимость повышения единичной мощности микроГЭС (от 1–3 до 20–30 кВт), применение свободнопоточных микроГЭС на крутосклонных реках (с увеличенной скоростью течения до 3,5–5 м/с) требуют новых конструктивных решений, коррекции математических моделей электромагнитного расчета торцевого генератора.

Испытания генератора и микроГЭС. Адекватность математической модели генератора подтверждена его стендовыми испытаниями (рис. 6). Исследования работоспособности образца НТСГ из установочной партии подтвердили соответствие его характеристик требованиям технического задания и технических условий, что позволяет вести работы по его сертификации.

Корректность модели турбины подтверждена натурными испытаниями опытных образцов микроГЭС мощностью 1, 3 и 10 кВт, трех образцов установочной партии микроГЭС мощностью 1 кВт.

Стендовые испытания генераторов и натурные испытания микроГЭС свидетельствуют о соответствии изделий требованиям технического задания и технических условий, подтверждают правильность основных конструктивных решений.

Автоматизация проектирования и анализа работоспособности. Обеспечить работоспособность микроГЭС в целом и ее компонентов на этапе проектирования невозможно без использования сочетания САД- и САЕ-систем. Использование этих информационных технологий позволяет сократить сроки и трудоемкость проектирова-



Рис. 5. Исследование на стенде характеристик НТСГ

ния, обеспечить качество изделия, избежать многих ошибок, осуществлять гибкую корректировку проекта в ходе его выполнения. Примером такого комплекса программ является сочетание SolidWorks, Ansys Multiphysics и Ansys CFX под интерфейсом Workbench.

Впервые была предложена модель анализа силового взаимодействия системы ротор–статор, проверена ее корректность в физическом эксперименте на опытном образце НТСГ.

Сила тяжения ротора к статору рассчитывается по формуле

$$F = \frac{B_y^2}{2 \cdot \mu_0} \cdot l_\delta \cdot \tau, \quad (6)$$

где B_y – сумма векторов магнитной индукции реакции якоря B_{3y} и ротора B_{2y} .

Наиболее сложной задачей является вычисление суммарной погрешности обработки. Это объясняется недостаточным количеством данных по элементарным погрешностям обработки, отсутствием частных методик по расчету технологических процессов по критерию точности. Поэтому технологу в некоторых случаях приходится самостоятельно разрабатывать план и анализировать результаты. В наиболее сложных случаях для снижения трудоемкости расчет целесообразно выполнять на вычислительных машинах.

С учетом конкретных значений влияния отдельных факторов на перепад воздушного зазора суммарный допуск вероятностным методом можно записать следующим образом:

$$\Delta \Sigma_{\text{ротор}} = \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^6 (K_i \cdot \Delta_i)}. \quad (7)$$

где Δ_i – величина перепада воздушного зазора из-за i -го фактора. Поскольку точность обработки ротора соответствует нормальному закону распределения погрешностей, то коэффициенты K_i можно принять равными 1.

Изменение значения K позволяет определить вероятность брака. В серийном производстве перепад зазора за счет погрешностей изготовления ротора не должен превышать 0,1 мм. Это значение следует принять за основу при вычислении силы тяжения в расчете напряженно-деформированного состояния генератора, в действительности в большинстве экземпляров торцевой электрической машины этот перепад будет ниже.

Результаты исследования расчетной модели силового взаимодействия системы статор–ротор показали, что деформации диска ротора зависят от величины воздуш-

ного зазора, рассчитанного для уровня, совпадающего с центром масс магнитов. В свою очередь следствием деформаций диска является переменный воздушный зазор между ротором и статором, что оказывает влияние на величину силы тяжения, а еще на изменение воздушного зазора влияет погрешности изготовления конструкции и сборки узла.

В CAD-среде создана расчетная твердотельная модель исследуемой торцевой машины, полученная на основе реальной конструкции этой сборочной единицы, которая позволяет дискретизировать по полюсам переменную по величине силу тяжения, передаваемую в САЕ-среду ANSYS. Габаритные размеры и топология расчетной модели эквивалентны реальным размерам ротора и статора.

Разработанная расчетная модель для определения величины воздушного зазора в силу постановки, максимального учета действующих факторов влияния и обоснованного выбора модельных параметров и возможностей программной среды позволяет получить достоверные данные о величине воздушного зазора между дисками ротора и статора, а также о прочности элементов конструкции.

Для повышения точности и достоверности результатов анализа работоспособности элементов НТСГ разработана комплексная модель, позволяющая учесть не только электромагнитное воздействие, но и весь комплекс технологических погрешностей (погрешности изготовления ротора генератора, деформации диска ротора, деформации корпуса и щитов, податливость подшипниковых опор), влияющих на взаимодействие системы ротор–статор. Это позволило обосновать назначение технологических допусков и прогнозировать работоспособность НТСГ.

Выполнен комплекс исследований механической работоспособности компонентов микроГЭС с верификацией этих моделей средствами численного моделирования в ANSYS и физических экспериментов.

Для сокращения времени от заказа до производства создается интегрированная система, включающая централизованное хранилище данных, базы конструкторских и технологических данных, CAD/CAE/CAM/PLM-комплекс программ, который частично уже апробирован и используется. Интегрированная среда должна быть сдана в эксплуатацию в 2011 г.

С 2011 г. планируется провести технологическую подготовку промышленного производства микроГЭС на ФГУП «НПП «Радиосвязь» и начать выпуск сертифицированных свободнопоточных микроГЭС мощностью 3 и 5 кВт.



Рис. 6. Натурные испытания микроГЭС на Енисее

Выводы. Исследования рынка малой энергетики и гидрологии рек Сибири свидетельствуют о целесообразности выпуска сотен микроГЭС в год.

Коллективом созданы математические модели рабочих процессов, методики расчета, конструкции, **необходимые для коммерциализации проекта.**

Неоднократно подтверждена корректность и точность разработанных моделей и методик проектирования, соответствие характеристик разработанных микроГЭС их расчетным параметрам.

Создается интегрированная система, включающая централизованное хранилище данных, базы конструкторских и технологических данных, CAD/CAE/CAM/PLM-комплекс программ, которая вместе с повышением качества проектирования позволяет существенно сократить время от заказа до производства изделия.

Библиографические ссылки

1. Торцевая электрическая машина : пат. 2246167. Российская Федерация / Встовский А. Л., Головин М. П.,

Встовский С. А. и др. МПК⁷ H 02 K 21/24 № 2003123587/09; заявл. 24.07.03; опубл. 10.02.05, Бюл. № 4.

2. Погружная свободнопоточная микрогидроэлектростанция : пат. 2247859. Российская Федерация / Головин М. П., Встовский А. Л., Головина Л. Н. и др. МПК⁷ F 03 B 13/00 № 2003127811/06; заявл. 15.09.03; опубл. 10.03.05, Бюл. № 7.

3. Развитие энергетического потенциала Республики Алтай – основа ее экономического благополучия : сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.altai-republic.com/>

4. О проекте Энергетической стратегии России на период до 2030 г. : доклад Министра энергетики Российской Федерации С. И. Шматко на заседании Правительства РФ. М., 27 авг. 2009.

5. Калиткин Н. Н. Численные методы. М. : Наука, 1978.

6. Федий К. С., Встовский А. Л. Анализ и расчет синхронных машин с возбуждением от постоянных магнитов // Оптимизация режимов работы электротехнических систем : межвуз. сб. науч. тр. / ИПЦ КГТУ. Красноярск, 2006.

M. P. Golovin, A. L. Vstovski, E. A. Spirin, K. A. Fedy, L. N. Golovina

PROSPECTS FOR USE OF SMALL HYDROPOWER IN THE SIBERIAN REGION

The authors consider possibility of electrification of frontier areas by means of free flow micro GPS, offer mathematical models for components of such micro GPS, verify adequacy of the models in the process of bench and field tests and develop an integrated design environment.

Keywords: free flow micro GPS, low speed generator, orthogonal turbine, CAD, CAE, CAM.

© Головин М. П., Встовский А. Л., Спиринов Е. А., Федий К. А., Головина Л. Н., 2010

УДК 338.242(571.51)

Е. В. Кашина, Е. В. Бочарова

ОЦЕНКА РЫНОЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА СВОБОДНОПОТОЧНЫХ МИКРОГЭС НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ*

Рассмотрены внешние факторы, определяющие целесообразность использования микроГЭС. Проведено обследование территорий Красноярского края, потенциально пригодных для использования микроГЭС. Определен рынок первоочередной реальной малой гидроэнергетики в Красноярском крае.

Ключевые слова: рыночный потенциал, Красноярский край, свободнопоточная микроГЭС.

Сущность региональной энергетической политики заключается в создании условий для стабильного, эффективного и надежного энергоснабжения потребителей всех регионов при минимальных затратах на производство, преобразование, транспорт и потребление энергоносителей и приемлемом уровне техногенного воздействия на окружающую природную среду.

Решение социальных проблем, или повышение уровня и качества жизни населения, часто выдвигается на первый план в качестве главного приоритета энергетической политики. Нет возражений против того, чтобы решение этой задачи «пронизывало» всю энергопрограмму. Однако же представляется разумным, чтобы программа решала, прежде всего, задачу энергоэффективности, про-

*Работа выполнена при финансовой поддержки Краевого государственного автономного учреждения «Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности».

изводным от которой и является рост благосостояния в регионе [1].

Большое количество малых рек с необходимым запасом гидроресурсов позволяет достаточно экономично решать проблему электроснабжения маломощных потребителей электроэнергии, в особенности, удаленных от линий электропередач.

Наиболее экономичными и легко сменяемыми являются свободнопоточные микроГЭС. Погружные микроГЭС круглогодичного действия удобны для небольших поселков, геологических партий, фермерских хозяйств. Они с успехом могут работать параллельно с дизельными электростанциями, существенно сокращая расход дизельного топлива или заменяя последние в случае аварии.

Преимуществами проекта являются:

1) экономичность – установка микроГЭС в удаленных или труднодоступных районах отличается простотой (повышается техническая надежность, снижается стоимость оборудования), небольшой массой конструкции и отсутствием стационарной привязки к местности, не требуются земляные работы (снижается стоимость монтажа);

2) экологичность – выработка электроэнергии с использованием энергии свободного потока реки обеспечивает экологическую чистоту объекта вследствие отсутствия земляных работ или деривационного рукава, отсутствия плотины. Турбина ГЭС размещается на дне реки, не мешая проходу лодок и катеров, не создает опасности. Низкая скорость вращения турбины не травмирует обитателей реки и не создает значительного шума;

3) за счет внедрения микроГЭС возможно удовлетворить потребность в электроснабжении маломощных потребителей электроэнергии, в особенности удаленных от линий электропередач, тем самым повышая качество жизни населения Красноярского края.

Исследование спроса на автономные источники электроэнергии дало следующие результаты.

Спрос на автономные источники электроэнергии, который начал формироваться в России и Европе с начала 90-х гг., является устойчивым, а рынок сбыта постоянно растет (особенно это касается Красноярского края, где начинает развиваться туристический бизнес).

Объем рынка РФ в сфере малой энергетики составляет около 60 млрд кВт/ч, объем освоенного рынка – до 0,3 млрд кВт/ч. Объем рынка Сибири и Дальнего Востока – свыше 60 % от указанного [2].

Рынок продаж автономных источников электроэнергии только формируется (первые продажи на территории РФ относятся к 1993 г.). Прирост объема продаж в европейской части России за последние 10 лет составил свыше 98 % [3].

Данный рынок является новым для России. Фирмы, осуществляющие подобные продажи в европейской части РФ, на данный момент не имеют своих представителей в указанных регионах. Это сводит к минимуму такой рискованный фактор, как появление конкурентов в сфере продаж. Однако необходимо учитывать, что в Красноярском крае в настоящее время проводятся предварительные исследования рынка в сфере малой гидроэнергетики.

По результатам патентно-аналитического поиска в среде научно-исследовательских разработок, аналогич-

ных предлагаемой конструкции, можно сделать определенные выводы.

На данный момент конкурентоспособными аналогами, основанными на запатентованных конструкторских решениях, являются малые ГЭС плотинного типа и микроГЭС деривационного типа.

Строительство каскадов малых ГЭС на реках края способно нарушить экологическое равновесие и привести к значительному снижению инвестиционной привлекательности региона.

Строительство микроГЭС деривационного типа возможно только в местности определенного рельефа, соответствующего, например, равнинной части. Данное решение является неактуальным для большей части Красноярского края [4].

Таким образом, на данный момент предлагаемая разработка – свободнопоточная микроГЭС погружного типа – является единственным конструкторским решением, полностью соответствующим потребностям рынка.

Запатентованные в настоящее время в России, Европе, США аналоги не могут быть реализованы на рынке Красноярского края, так как обладают целым рядом особенностей, делающих эти конструкции непригодными к использованию в имеющихся природных условиях.

Нами было проведено предварительное исследование спроса на автономные источники электроэнергии в Красноярском крае (см. <http://www.krskstate.ru/economy/socialeconomic>). Рассмотрим основные результаты.

Предполагаемая структура продаж:

- малые предприятия, в том числе производственные – 19,05 %;
- фермерские хозяйства – 10,7 %;
- туристические фирмы – 0,5 %;
- бытовые и административные объекты – 69,8 %.

Принципиальное отличие предполагаемой структуры продаж микроГЭС в Красноярском крае от продаж аналогов в европейской части России заключается в том, что основную роль играют административные заказы. Следовательно, стратегия продвижения продукции на рынок должна быть рассчитана, в первую очередь, на представителей краевой и районной администраций, на руководителей малых производственных предприятий.

На основании проведенных исследований и Закона Красноярского края «О труднодоступных и отдаленных местностях Красноярского края» от 29.09.05 г. № 16-3747 составлен реестр территорий, перспективных для реализации данного проекта (см. таблицу).

Оценив рыночный потенциал свободнопоточных микроГЭС, можно сделать следующие выводы: на территории Красноярского края есть все предпосылки к созданию рынка свободнопоточных микроГЭС как эффективного решения по энергоснабжению территорий, удаленных от линий электропередач, имеющих дефицит энергии или не имеющих ее вообще.

Библиографические ссылки

1. Статистический отчет «Итоги развития Красноярского края за 2009 г.». Комитет статистики Красноярского края. Красноярск, 2010.

2. Аналитический вестник Совета Федерации ФС РФ. Раздел «Энергетика». 2008–2009.

3. Энергообеспечение территорий Красноярского края : аналитический отчет. Красноярский краевой комитет статистики, 2008.

4. Водные ресурсы Красноярского края : статистический отчет администрации Красноярского края. 2008.

Реестр территорий, перспективных для реализации проекта

Пригодность	Район	Реки	Населенный пункт
Очень низкая	Енисейский	Ангара	п. Стрелка
		Енисей	
		Кемь	с. Плотбище
		Кас	п. Александровский шлюз
		Сым	п. Майское
Низкая	Туруханский	Сухая Тунгуска	п. Сухая Тунгуска
	Енисейский	Малая Белая	д. Малобелая
	Северо-Енисейский	Вельмо	п. Вельмо
	Каратузский	Казыр	с. Таяты
Не очень высокая	Шушенский	Оя	с. Жеблахты
	Туруханский	Турухан	п. Янов Стан
Высокая	Северо-Енисейский	Большой Пит	п. Брянка
	Туруханский	Подкаменная Тунгуска	д. Подкаменная Тунгуска
	Курагинский	р. Казыр	д. Гуляевка
	Ермаковский	Большая	п. Большая речка
Очень высокая	Ермаковский	Ус	д. Усть-Золотая
			с. Верхнеусинское
Другое	Енисейский	Кас	п. Новый Городок
			п. Касово
	Северо-Енисейский	Еруда	п. Новоерудинский
	Туруханский	Дубчес	п. Сандакчес
		Елогуй	п. Келлог
		Нижняя Тунгуска	с. Туруханск
		Курейка	Курейская ГЭС
	Курагинский	Казыр	п. Казыр
	Ермаковский	Мигна	с. Мигна
	Шушенский	Голубая	д. Голубая

E. V. Kachina, E. V. Botcharova

ESTIMATION OF FREE-FLOWING MICRO HYDROELECTRIC POWER STATIONS IN KRASNOYARSK REGION

The external factors defining expediency of using micro hydroelectric power stations are considered. Exploration of areas of Krasnoyarsk region, which are suitable for usage of micro hydroelectric power stations is carried out. The market of primary real small hydroelectric engineering in Krasnoyarsk region is defined.

Keywords: market potential, Krasnoyarsk territory, free-flowing micro hydroelectric power stations.

© Кашина Е. В., Бочарова Е. В., 2010

СОЦИАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОГЭС НА ОТДАЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ*

Рассмотрены виды социальных эффектов и области их реализации для различных категорий потребителей электроэнергии. Проведена экспертная оценка социальных эффектов, представлен процесс оценки эффектов, определена интегральная оценка социального эффекта, возникающего при использовании свободнопоточной микроГЭС.

Ключевые слова: социальный эффект, отдаленные территории, Красноярский край, свободнопоточная микроГЭС.

На региональном уровне решение социальных проблем, или повышение уровня и качества жизни населения, является одним из главных приоритетов энергетической политики.

Выполнение проекта позволяет решить социальные проблемы населения отдаленных территорий за счет улучшения условий проживания и обеспечения занятости путем обеспечения автономного электроснабжения энергодефицитных территорий.

Разработанные в Сибирском федеральном университете свободнопоточные микроГЭС позволяют более экономично, чем другие варианты, решать проблему маломощных потребителей электроэнергии, в особенности удаленных от линий электропередач.

Оценка социальной значимости проведена для различных групп потребителей:

- потребители электроэнергии, размещающиеся в труднодоступных, отдаленных, не электрифицированных или недостаточно электрифицированных районах, вблизи потенциальных источников гидроэлектроэнергии: поселки, фермерские хозяйства, туристические базы, гостиницы, спортивные базы и др.;

- потребители электроэнергии, обладающие высокой мобильностью и нуждающиеся в источниках электроэнергии, не имеющих стационарной привязки: предприятия разведывательного и добывающего типа, работающие по вахтовому методу, охотничьи хозяйства, передвижные и туристические спортивные базы.

Принципиальная особенность предполагаемой целевой группы потребителей в Красноярском крае заключается в том, что основную заинтересованность проявляют административные структуры и хозяйственные субъекты.

В работе оценка социальной и бюджетной значимости проведена с двух позиций:

- уменьшение доли затрат на электроэнергию в потребительской корзине населения;
- уменьшение затрат из бюджета на покупку дизельного топлива.

Исходя из данных статистической отчетности, средняя доля затрат на электроэнергию в потребительской корзине населения России составляет 3–5 % в зависимости от региона (см. <http://www.krskstate.ru/econom/socialeconomic>).

В регионах, где удовлетворение потребности в энергии происходит за счет дизельных электростанций (ДЭС), по-

требители вынуждены платить 8,43–8,63 руб/кВт·ч. Решение проблемы с помощью свободнопоточной микроГЭС (при условии 100 % замещения производства с помощью ДЭС) предполагает снижение тарифа до 0,99–1,43 руб/кВт·ч, в зависимости от мощности микроГЭС. Следовательно, затраты на покупку электроэнергии снизятся в 6–8 раз. Соответственно, это приведет к росту доходов населения и расширению платежеспособного спроса.

С другой стороны, при использовании ДЭС бюджетными организациями, приходится закупать топливо, причем потребность в нем не всегда удовлетворяется на 100 %. При условии полного замещения ДЭС на предлагаемые свободнопоточные микроГЭС произойдет значительное высвобождение бюджетных средств, которые могут быть направлены на повышение уровня заработной платы, реализацию социальных программ.

Проведем расчет экономии денежных средств на примере Туруханского района.

Выработка электроэнергии микроГЭС рассчитывается по формуле

$$W_{\text{общ}} = P \times T_{\text{д}} \times T_{\text{ч}} \times n,$$

где $W_{\text{общ}}$ – электроэнергия, выработанная с помощью МГЭС, кВт·ч; $T_{\text{д}}$ – число дней работы установки за год, дн; $T_{\text{ч}}$ – число часов использования установки в день, ч; n – количество микроГЭС, покупательная стоимость которых соответствует стоимости продукта.

В расчетах принимаем: число дней работы установки – 320; установка работает 24 часа; мощность МГЭС – 20 кВт. Отсюда:

$$W_{\text{общ}} = 20 \times 320 \times 24 \times 8 = 128\,800 \text{ кВт·ч.}$$

Расход топлива, необходимый для выработки такого количества энергии на ДЭС, имеет вид

$$B_{\text{э}} = b_{\text{э}} \times W_{\text{общ}},$$

где $B_{\text{э}}$ – расход топлива на выработку электроэнергии, кг; $b_{\text{э}}$ – удельный расход топлива на выработку электроэнергии, кг/кВт·ч; $W_{\text{общ}}$ – электроэнергия, выработанная с помощью МГЭС, кВт·ч.

Удельный расход топлива составляет 0,264 кг/кВт·ч. Следовательно,

$$B_{\text{э}} = 0,264 \times 128\,800 = 324\,403 \text{ кг.}$$

Экономия бюджетных средств рассчитывается следующим образом:

$$\Delta = B_{\text{э}} \times P_{\text{т}},$$

*Работа выполнена при финансовой поддержки Краевого государственного автономного учреждения «Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности».

где B_3 – расход топлива на выработку электроэнергии, кг;
 P_T – средняя стоимость топлива для ДЭС, руб./кг.

Для Туруханского района $P_T = 32,6$ руб./кг. Следовательно:

$$\Xi = 324\,403 \times 32,6 = 10\,575\,537,8 \text{ руб.}$$

Экономия бюджетных средств только для Туруханского района составит 10 575 537,8 руб. Для других районов расчет производится аналогичным образом.

Кроме этого, владельцы частных предприятий и просто крупные домашние хозяйства, которые в состоянии приобрести предлагаемую установку, будут иметь альтернативу, каким образом они будут удовлетворять свою потребность в энергии: с помощью ДЭС, свободнопоточной микроГЭС или подведения электрической энергии, производимой централизованными источниками энергии.

Рассмотренные выше отдельные эффекты в совокупности могут повлиять на непростую в нашем регионе ситуацию и отчасти сгладить те негативные последствия, которые вызваны несбалансированным уровнем жизни населения и различием в экономике в районах края.

Процесс оценки эффектов целесообразно представить в формализованном виде (см. таблицу):

– каждый вид эффекта оценивается по трем критериям: направление действия (положительный, отрицательный), степень выраженности эффекта (слабый, умеренный, значительный) и масштабы охвата населения;

– вводится балльная шкала оценки, например, слабый эффект, охватывающий незначительную часть населения, оценивается в 1 балл, значительный эффект, охватывающий большинство населения, – в 5 баллов (с соответствующим знаком);

– суммируются оценки по разным видам эффекта и выводится интегральная оценка социального эффекта.

Оценив социальные эффекты, возникающие при использовании свободнопоточных микроГЭС, можно сделать определенные выводы.

Учитывая, что стоимость топлива постоянно растет, рост тарифов на электроэнергию, получаемую от ДЭС, неизбежен. Поэтому даже частичный переход на энергию микроГЭС позволит сэкономить значительные средства как населению, так и бюджетным организациям.

Достигнутый социальный эффект, в свою очередь, способствует повышению экономической эффективности проекта. Так, повышение доходов населения приводит к росту платежеспособного спроса, что стимулирует развитие производства; сокращение бедности обеспечивает экономию на социальных трансфертах; улучшение здоровья населения дает возможность экономить на выплате пособий по временной нетрудоспособности, пенсий по инвалидности.

На макроуровне развитие человеческого потенциала, достигнутое вследствие роста качества жизни населения, является одним из факторов обеспечения экономического роста и конкурентоспособности экономики. Повышение образовательного уровня и улучшение здоровья населения позволяет удовлетворить потребности экономики в квалифицированной рабочей силе, обладающей востребованными в современных условиях знаниями и специальностями, высокой мобильностью, способностью быстро адаптироваться к интенсивным структурным, технологическим, информационным изменениям в экономике.

Оценка социальных эффектов

Вид эффекта	Направление действия	Степень выраженности	Масштабы охвата населения
Создание (реконструкция) рабочих мест	Положительный	Умеренный	3
Расширение занятости за счет создания новых рабочих мест	Положительный	Умеренный	3
Сокращение уровня безработицы	Положительный	Умеренный	3
Повышение уровня жизни населения	Положительный	Значительный	5
Рост доходов населения	Положительный	Значительный	5
Налоговые поступления от реализации инвестиционного проекта	Положительный	Значительный	5
Улучшение экологической ситуации	Положительный	Значительный	5
Улучшение здоровья населения, улучшение демографической ситуации	Положительный	Умеренный	4
Уменьшение случаев профессиональной заболеваемости и производственного травматизма в результате улучшения условий труда	Положительный	Значительный	5
Снижение заболеваемости населения вследствие улучшения экологической ситуации (сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, образования токсичных отходов)	Положительный	Умеренный	3
Повышение образовательного и квалификационного уровня рабочей силы и населения в целом	Положительный	Слабый	2
Интегральная оценка социального эффекта		43	

E. V. Kachina, E. V. Botcharova

SOCIAL IMPORTANCE OF USE OF MICRO HYDROELECTRIC POWER STATIONS AT THE REMOTE TERRITORIES OF KRASNOYARSK REGION

Different kinds of social effects and areas of their realization for various categories of consumers of electric power are considered in the article. Expert estimation of social effects is carried out, process of estimation of the effects is presented, integrated estimation of the social effects arising in the process of free-flowing micro hydroelectric power station usage is presented.

Keywords: social effects, frontier areas, Krasnoyarsk region, free-flowing micro hydroelectric power station.

© Кашина Е. В., Бочарова Е. В., 2010

УДК 519.86

Л. П. Скиба, О. В. Новоселов

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СТУДЕНТОВ ПО СРЕДНЕМУ БЛАГОСОСТОЯНИЮ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

На основании статистических данных описывается материальное благосостояние студентов экономического факультета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Приведены графики распределения величины средних доходов пяти категорий, входящих в исследуемый социум. В качестве числовой характеристики дифференциации благосостояния приняты коэффициенты Джини и кривая Лоренца.

Ключевые слова: дифференциация благосостояния, кривая Лоренца, коэффициент Джини.

Проблема измерения социального неравенства является одной из важнейших в социально-экономических науках. Известны различные методы его фиксации, основным из которых является метод соотношения социальных прослоек, согласно которому совокупность рассматриваемых объектов (людей, семейств или хозяйств) делится на несколько групп, чаще всего бедные – средние – богатые, а затем определяется доля каждой из них в общем объеме рассматриваемой выборки. Если большинство респондентов (около 80 %) попадает в средний класс, а крайние группы по численности одинаковы, то считается, что общество практически однородно. При уменьшении доли среднего класса до 50 % и возрастании числа бедных по сравнению с числом богатых делается вывод о сильном расслоении общества и явно присутствующем неравенстве. Эта методика дает качественное определение дифференциации общества, не позволяющее количественно измерять и сравнивать соответствующие благосостояния.

Применение математических методов с привлечением дополнительной информации о количественной оценке доходов каждой из групп, которую дают респонденты, позволяет более детально характеризовать общество с точки зрения экономического неравенства. Преобразование статистических данных в математическую форму дает возможность в концентрированном виде оценивать полученную информацию, которая в этом случае имеет четкий и ясный смысл.

Мировой экономический кризис коснулся не только крупных финансовых групп, но и обычных граждан. Пред-

ставляется интересным исследование его влияния на так называемый «средний класс», а именно ту часть семей, которая имеет на иждивении учащихся, в том числе, и студентов нашего вуза. Поскольку студенты 1–2 курсов на 96 % зависят от доходов родителей, то информация об их принадлежности к той или иной социально-имущественной группе будет совпадать с соответствующей оценкой их родителей.

Целью данной работы явилось исследование фактической дифференциации студентов первых курсов по имущественному принципу и сравнение нынешнего, докризисного и планируемого посткризисного благосостояния семей, имеющих студентов, обучающихся в нашем вузе. В этой связи возникают следующие задачи:

- 1) получение данных о принадлежности опрошенных к одной из пяти групп – *бедный, ниже среднего, средний, выше среднего, богатый* – с выставляемыми ими величинами денежного эквивалента в руб.;
- 2) определение коэффициентов кривой Лоренца, характеризующих дифференциацию социума в общем виде;
- 3) вычисление коэффициентов Джини, дающих количественную оценку степени неравенства рассматриваемой совокупности опрошенных лиц.

За период с 1 сентября 2008 г. по 1 марта 2010 г. в исследовании приняли участие более 200 студентов младших курсов финансово-экономического факультета. Объектом исследования являлся уровень дохода на человека в семье по индивидуальным ощущениям каждого

из опрошенных, для чего были разработаны анкеты (рис. 1), причем анкета 2008–2009 гг. не содержала строки «в будущем» в силу понятных причин.

Каждый студент сопоставлял себя с каким-либо классом в обществе и определял границы дохода, присущие, по его мнению, всем категориям. Данные опроса 86 студентов 1 курса 2008–2009 гг. приведены в табл. 1.

Обращают на себя внимание широта границ доходов каждого из классов. Так, у одних низкий класс доходов (бедность) ассоциируется с 1–3 тыс. руб./мес., у других – с 7–10 тыс. руб./мес., что дает общий интервал в размере 1–10 тыс. руб./мес. Аналогично средний класс находится в интервале от 4 до 30 тыс. руб./мес., высокий – от 10 до 70 тыс. руб./мес. Поэтому результаты анкетирования обрабатывались методами математической статистики, и для каждой категории определялось среднее значение ежемесячного дохода, которое фигурировало в дальнейших вычислениях.

Анализ таблицы показывает, что на 1 сентября 2008 г. почти 64 % опрошенных первокурсников отнесли себя к среднему классу с ежемесячным доходом 12,24 тыс. руб. на человека, 24,4 % – считали свой доход (22,2 тыс. руб.) выше среднего и только 11,6 % причислили себя к категории *низкий* и *ниже среднего*. В марте 2009 г. численность *среднего* класса уменьшилась в 1,3 раза, *выше среднего* – почти вдвое. В то же время численность классов *низкий* и *ниже среднего* увеличились в 3,2 раза. Средние значения доходов в каждом классе выросли примерно на 1 тыс. руб. в мес., но среднеарифметическое значение совокупного дохода социума ($\bar{x}$) упало с 14 тыс. руб. до

12,4 тыс. руб., т. е. на 12 %. Графики этих процессов приведены на рис. 2.

В феврале 2010 г. было опрошено 85 студентов первого и 45 – второго курсов финансово-экономического факультета СибГАУ (табл. 2–3).

Анализ данных табл. 2 подтверждает замеченную тенденцию к снижению уровней доходов. Более того, уровень бедности у первокурсников 2009 г. ассоциируется с 3,12 тыс. руб. вместо 5,42 тыс. руб. у первокурсников 2008 г. Так же понизились оценки 2-й, 3-й и 4-й категорий доходности: с 8,02 до 5,9; с 13,02 до 11,4; с 22,5 до 20,1 тыс. руб., соответственно. В то же время декларируемая сумма доходов лиц 5 категории выросла почти втрое: от 31,2 до 101 тыс. руб., т. е. бедные становятся беднее, а богатые – богаче. В целом, поведение статистических распределений доходов «в прошлом» и «настоящем» у первокурсников прошлого и нынешнего набора идентичны: доля самого многочисленного 3-го класса уменьшилась на 9 %, 4-го и 5-го классов в сумме – на 5 %, а доля лиц 1-го и 2-го классов выросла на 14 %. Среднестатистические доходы социума изменились с 14,05 тыс. руб. в прошлом до 10,73 тыс. руб. в настоящем и возрастут до 27,62 тыс. руб. в будущем (рис. 3).

Прогнозы первокурсников 2009 г. на будущее оптимистичны: 86 % отнесли себя к людям с достатком выше среднего, но требование денежного эквивалента снизилось с 101,7 тыс. руб. в прошлом до 88,4 тыс. руб. в будущем.

Денежный доход на душу населения по Красноярскому краю за 2008 г. составил 15,8 тыс. руб., а за 2009 г. – 16,28 тыс. руб. В среднем по краю доход вырос, но коли-

Денежные расходы в месяц на одного человека.					
	1 категория	2 категория	3 категория	4 категория	5 категория
В прошлом (до кризиса)					
В настоящем (кризис)					
В будущем (после кризиса)					
1 кат. Бедный от до					
2 кат. Ниже среднего от до					
3 кат. Средний от до					
4 кат. Выше среднего от до					
5 кат. Богатый от до					

Рис. 1

Таблица 1

Данные опроса студентов 1 курса (2008–2009 гг.)

Класс	Сентябрь 2008 г.			Март 2009 г.		
	Удельный вес к общему числу студентов, %	Средний доход, тыс. руб.	Удельный вес в совокупном доходе, %	Удельный вес к общему числу студентов, %	Сумма, тыс. руб.	Удельный вес в совокупном доходе, %
1 кат.	3,49	4,81 (1–10)	1,20	8,14	5,42 (1–12)	8,14
2 кат.	8,14	7,16 (2,5–15)	4,16	29,07	8,02 (1–12)	18,82
3 кат.	63,95	12,24 (4–30)	55,92	48,84	13,21 (4–25)	52,31
4 кат.	24,42	22,20 (6–50)	38,72	13,95	22,48 (6–50)	25,32
5 кат.	0,00	31,49 (10–70)	0,00	0,00	31,22 (10–22)	0,00

чество студентов, относящих себя к 5-й категории, уменьшилось. Поэтому средний доход рассматриваемого социума уменьшился.

В опросе второго курса приняли участие 45 человек, из которых 23 человека принимали участие в марте 2009 г. Данные опроса приведены в табл. 3, полигоны относительных частот по категориям – на рис. 4.

Анализируя табл. 3 и рис. 4, можно заметить, что показатели людей, отнесших себя к классам, не достигающим среднего дохода – 7 %, одинаковы в прошлом и настоящем периодах, однако в будущем соотношение этих категорий претерпит изменение в сторону перехода некоторых опрошенных в средний класс. Студентов, позиционирующих себя как лиц с достатком *выше среднего*, в настоящем стало больше на 9 %, и увеличится еще на

24 % в будущем. Столь оптимистический настрой второкурсников связан не только с надеждами на повышение доходов родителей, но и началом самостоятельной работы в летний и вечерний периоды времени. Таким образом, мировой экономический кризис помимо очевидного отрицательного влияния на сообщество студентов имеет и положительный аспект, побуждая некоторых из них к ранней профессиональной деятельности.

Проведенные исследования показали реально существующее различие в обеспеченности студентов и их семей.

Для определения числовой характеристики дифференциации общества использовался коэффициент Джини. Для его определения строилась кривая Лоренца, определяемая функцией $y = f(x)$, где y – это доля совокупного

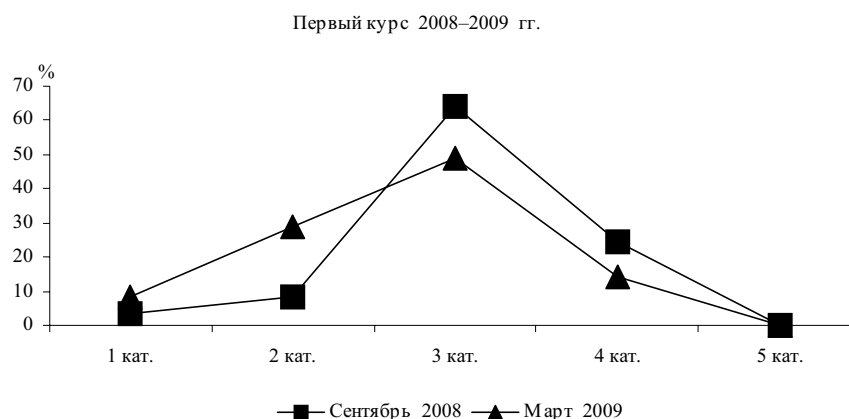


Рис. 2

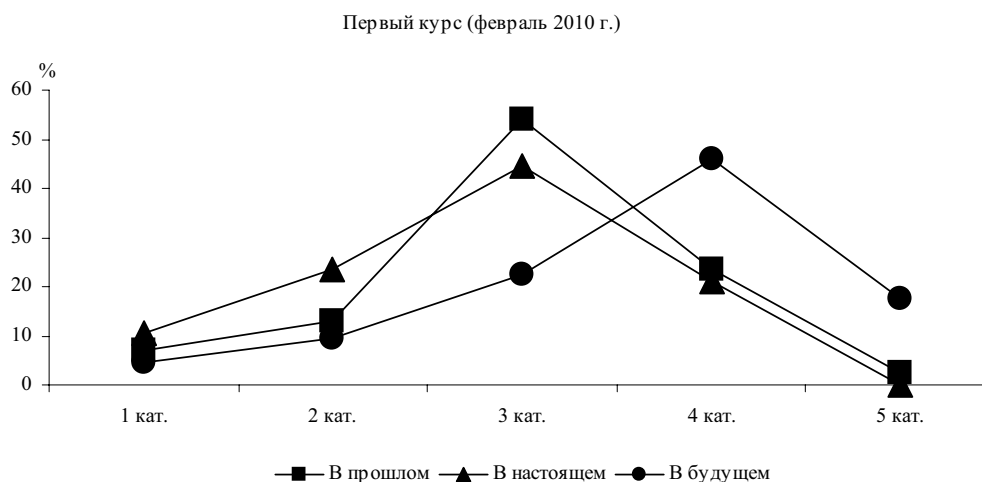


Рис. 3

Данные опроса для первого курса (февраль 2010 г.)

Таблица 2

Класс	В прошлом		В настоящем		В будущем	
	Удельный вес к общему числу студентов, %	Средний доход, тыс. руб.	Удельный вес к общему числу студентов, %	Средний доход, тыс. руб.	Удельный вес к общему числу студентов, %	Средний доход, тыс. руб.
1 кат.	7	3,127	11	3,189	5	2,845
2 кат.	13	5,902	23	5,965	9	5,883
3 кат.	54	11,405	45	10,582	22	10,191
4 кат.	23	19,114	21	20,116	46	19,753
5 кат.	3	101,717	0	97,951	18	88,379

дохода, получаемая частью населения x , начиная с наиболее низко оплачиваемого. Например, $y(0,8) = 0,6$ означает, что 80 % населения получают 60 % совокупного дохода. Очевидно, что $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $y \leq x$. Пример графика функции $y = f(x)$ показан на рис. 5. Эта кривая называется кривой Лоренца. Для совершенного, одинакового для всех, распределения доходов она выражается в прямую $y = x$.

Отклонение реального распределения доходов от идеального характеризуется коэффициентом неравномерности или коэффициентом Джини. Он определяется по формуле

$$k = \frac{S_{OAB}}{S_{\Delta OAC}} = 1 - \frac{S_{OABC}}{S_{\Delta OAC}} = 1 - 2S_{OABC},$$

так как $S_{\Delta OAC} = 0,5$.

Очевидно, что $0 \leq k \leq 1$. Значение $k = 0$ соответствует совершенному распределению доходов, а значение $k = 1$ означает, что весь доход получает один человек.

В данной работе кривая Лоренца аппроксимировалась следующим уравнением:

$$y = \frac{x}{a + (1-a)x}.$$

Используя метод наименьших квадратов, численными методами были рассчитаны параметры кривых Лоренца для различных статистических совокупностей. Так, для 2010 г. было получено, что функции Лоренца имеют следующий вид:

– в прошлом $y = \frac{x}{5,2299 - 4,2299x}$;

– в настоящем $y = \frac{x}{5,3467 - 4,3467x}$;

– в будущем $y = \frac{x}{9,9634 - 8,9634x}$.

Графики этих функций представлены на рис. 6.

Используя функции кривых Лоренца, были рассчитаны коэффициенты Джини, которые составили: в сентябре 2008 г. $k = 0,49$; в марте 2009 г. $k = 0,52$. Для февраля 2010 г. были получены следующие результаты: в прошлом $k = 0,54$; в настоящем $k = 0,51$; в будущем $k = 0,65$.

Считается, что если коэффициент Джини находится от 0 до 0,2, то общество малодифференцировано по уровню дохода. Если коэффициент принадлежит интервалу от 0,2 до 0,35, то среднедифференцировано, свыше 0,4 – сильнотифференцировано с малым процентом среднего класса, очень большой прослойкой мало- и хорошо обеспеченных. По данным Росгосстата, коэффициент Джини в России в течение 10 последних лет практически не меняется, колеблясь около значения 0,4. В 2009 г. коэффициент Джини составил 0,42. Неравенство в России существенно выше, чем в Европе, но ниже, чем в Китае и США (около 0,45) и тем более ниже, чем в Бразилии (почти 0,6). Если рассматривать неравенство между гражданами всего мира, то этот показатель составляет, по разным оценкам, от 0,60 до 0,65. А в СССР коэффициент Джини составлял, по разным подсчетам, от 0,25 до 0,29.

Для финансово-экономического факультета СибГАУ данный показатель составил в прошлом 0,54, в настоящем – 0,51, а в будущем – 0,65, что говорит о значительном расслоении общества студентов и дальнейшей тенденции роста этого коэффициента. Наглядно это можно наблюдать по кривой Лоренца, которая в будущем ожидается более вогнутой (см. рис. 6).

Второй курс (февраль 2010 г.)

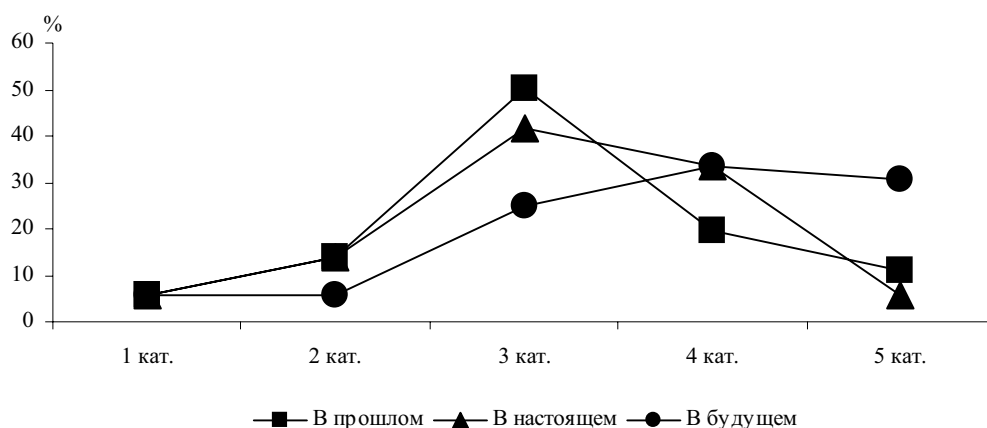


Рис. 4

Таблица 3

Данные опроса для второго курса (февраль 2010 г.)

Класс	В прошлом		В настоящем		В будущем	
	Удельный вес к общему числу студентов, %	Средний доход, тыс. руб.	Удельный вес к общему числу студентов, %	Средний доход, тыс. руб.	Удельный вес к общему числу студентов, %	Средний доход, тыс. руб.
1 кат.	6	4,090	6	4,090	6	4,090
2 кат.	14	7,888	14	8,877	6	8,134
3 кат.	50	14,318	41	12,900	25	15,736
4 кат.	19	41,741	33	38,331	33	23,140
5 кат.	11	182,310	6	166,640	30	206,526

Таким образом, было проведено анкетирование, построены уравнения кривой Лоренца, определен коэффи-

циент Джини, сделан вывод о наличии значительной дифференциации студенческого общества, которая в пост-кризисный период только усилилась.

Авторы благодарят студентов И. Пузанову, А. Иванченко, С. Шитикова, Е. Божко и С. Матушкина за работу по сбору и обработке статистических данных.

Библиографическая ссылка

1. Пузанова И. Д., Иванченко А. В., Скиба Л. П. Дифференциация общества студентов в связи с мировым финансовым кризисом // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : сб. тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молод. специалистов / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Т. 2. Красноярск, 2009.

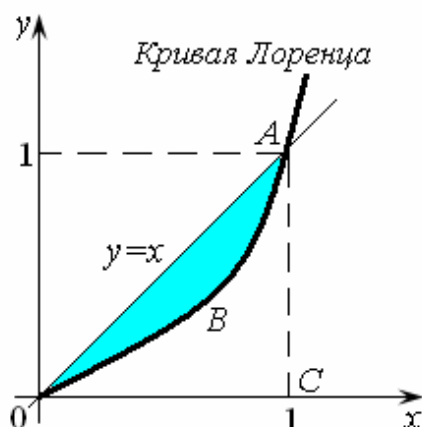


Рис. 5

Кривые Лоренца (февраль 2010 г.)

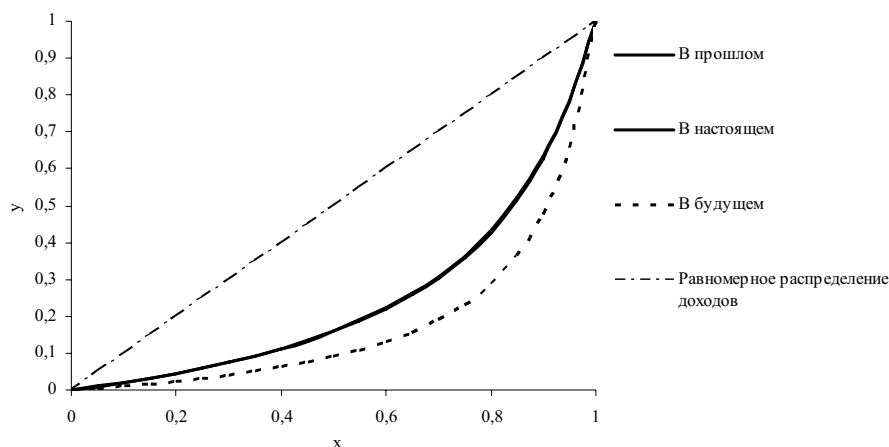


Рис. 6

L. P. Skiba, O. V. Novoselov

DIFFERENTIATION OF STUDENTS ON REVENUE POSITIONS IN MODERN CONDITIONS

On the basis of statistical data we estimate material welfare of students of economic faculty of SibSAU. Graphs of distribution of revenue positions of five categories which are included in researched society are presented. As the numerical characteristic of differentiation of well-being we accepted Gini coefficient and Lorenz curve.

Keywords: differentiation of welfare, Lorenz curve, Gini coefficient.

© Скиба Л. П., Новоселов О. В., 2010

РОЛЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА МОЛОДЕЖИ В ПОСТРОЕНИИ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ*

Рассматривается взаимосвязь научно-технического творчества молодежи (НТТМ) с эффективностью функционирования инновационной инфраструктуры. Предложен подход к моделированию системы НТТМ, основанный на выделении 4 стадий вовлечения молодежи, для каждой из которых определены основные функции соответствующих механизмов молодежной политики. Для координации функционирования системы НТТМ в рамках региона предложена концепция методического центра по развитию и сопровождению проектов и программ научно-технического творчества и инновационной деятельности молодежи, определены его цель, задачи и ключевые направления деятельности.

Ключевые слова: научно-техническое творчество, инновационная деятельность, коммерциализация разработок, инновационный потенциал, молодежная политика, инновационная инфраструктура.

В настоящее время в связи с необходимостью перевода страны на инновационный путь развития и широкого использования научных достижений в реальном секторе экономики общепризнанной является необходимость активизации научной, научно-технической и инновационной деятельности в образовательных и научных учреждениях, традиционно являющихся в России основными институтами получения нового научно-технического знания и новых технологических решений с перспективами внедрения в производство с целью увеличения его эффективности и конкурентоспособности бизнеса. Вместе с тем в последнее десятилетие наблюдается процесс интенсивного создания разнообразных специализированных институтов коммерциализации научно-технических разработок, таких как бизнес-инкубаторы, центры трансфера технологий, технологические парки и т. д. Весь комплекс организационно-экономических институтов, непосредственно обеспечивающих условия реализации инновационных процессов хозяйствующими субъектами, называется инновационной инфраструктурой, эффективность функционирования которой является необходимым условием увеличения роли высокотехнологичного и наукоемкого бизнеса в структуре российской экономики [1].

При рассмотрении механизмов функционирования инновационной инфраструктуры применяется разбиение (достаточное условное) процесса развития инновационного проекта на несколько стадий: «исследование – апробация – внедрение – развитие», или, по версии, принятой в англоязычной литературе, «pre-seed – seed – prototype – startup – growth». Для каждой из стадий в соответствии с ее спецификой применяются различные инструменты управления и поддержки инновационного процесса со стороны институтов инновационной инфраструктуры, общая цель которых заключается в снижении свойственных данным стадиям рисков процесса преобразования результата интеллектуальной деятельности в коммерчески успешный продукт [2].

На наш взгляд, рассмотрение инновационной инфраструктуры как системы управления и поддержки инно-

вационной деятельности, начиная с момента появления «инновационной идеи» (предположения о возможной коммерческой эффективности внедрения научной разработки) или даже с момента проведения научного исследования, является недостаточно широким, и связано это в первую очередь с тем, что инновационное развитие определяется не только тем, насколько успешно те или иные идеи и проекты находят свое воплощение в реальном производстве (в любом случае, какой бы успешной ни была система сопровождения проектов, лишь малая их доля станет успешной на рынке), но и тем, насколько интенсивно идет процесс генерации перспективных идей, насколько они востребованы в социальной среде и насколько органично присутствуют в общественном сознании.

В первую очередь, данный аспект актуален в отношении участия молодежи в инновационном процессе, поскольку именно в молодежной среде, во-первых, имеется высокий потенциал творческой активности, который может реализовываться в виде потенциально успешных научно-исследовательских и научно-технических разработок, а, во-вторых, формируется кадровый потенциал, обеспечивающий устойчивое развитие, как самих инновационных проектов, так и инновационной инфраструктуры в целом. Не учитывая механизмы и формы вовлечения молодежи в научно-техническую, исследовательскую и инновационную деятельность при рассмотрении инновационной инфраструктуры, мы рискуем потерять из виду процесс формирования и развития необходимых предпосылок для последующего появления успешных инновационных проектов, и в этом случае все меры поддержки более поздних стадий останутся неэффективными, так как не будет достаточного количества кадровых ресурсов и собственно инновационных «пред-проектов» на входе [3].

Таким образом, мы предлагаем рассматривать систему научно-технического творчества молодежи (НТТМ) и институты поддержки и управления инновационной деятельностью как дополняющие друг друга составляющие единой инновационной инфраструктуры, времен-

*Работа выполнена при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности.

ная точка входа в которую находится не в начале научно-исследования, ориентированного на дальнейшую коммерциализацию, а в момент появления первого интереса у молодого человека (школьника или студента) к научно-исследовательской, изобретательской или другой форме интеллектуальной творческой деятельности.

Предлагаемая нами схема такой инновационной инфраструктуры представлена на рисунке. Данная схема иллюстрирует стадии процесса вовлечения молодежи в процессы НТТМ, и, далее, в инновационную деятельность по разработке и коммерческой реализации инновационных продуктов и технологий.

Рассмотрим возможные механизмы функционирования данной системы на каждой стадии.

Первая стадия – предоставление возможности для активной молодежи включения в процессы научной, научно-исследовательской и научно-технической деятельности. Ведущая роль на данной стадии принадлежит, на наш взгляд, образовательным учреждениям, поскольку они, органично включая элементы научно-исследовательской работы в факультативную часть образовательной программы, могут наиболее эффективно предоставлять молодежи возможности включения в сферу НТТМ. При этом обеспечивается максимальный охват молодежной аудитории, с одной стороны, и отбор той части молодежной аудитории, которая потенциально способна к успешной научно-исследовательской деятельности – с другой,

за счет необязательности таких школьных секций и спецкурсов в вузах и средних специальных учебных заведениях. К сожалению, на сегодняшний день общеобразовательный курс школьной программы в силу его инерционности и низкой адаптивности к изменяющимся условиям зачастую не обеспечивает заинтересованности учащихся к участию в научно-исследовательской деятельности. То же самое можно сказать и о большей части образовательных программ вузов и средних специальных учебных заведений, практические занятия в которых чаще всего проводятся по заданному шаблону, не оставляя студенту простора для самостоятельного научно-исследовательского или научно-технического творчества в самой первой, примитивной его стадии – в форме решения конкретной исследовательской задачи.

Помимо образовательных учреждений, в инфраструктуру инновационной деятельности молодежи на этой стадии могут включаться молодежные общественные и инициативные объединения, связанные с научной и научно-технической деятельностью (объединения молодых ученых, инициативные молодежные группы по научным направлениям), проводя открытые семинары и презентации перспективных научно-исследовательских направлений и возможностей по их развитию. Целесообразным представляется разработка специализированных методических материалов, включающих описание наиболее перспективных направлений НТТМ в

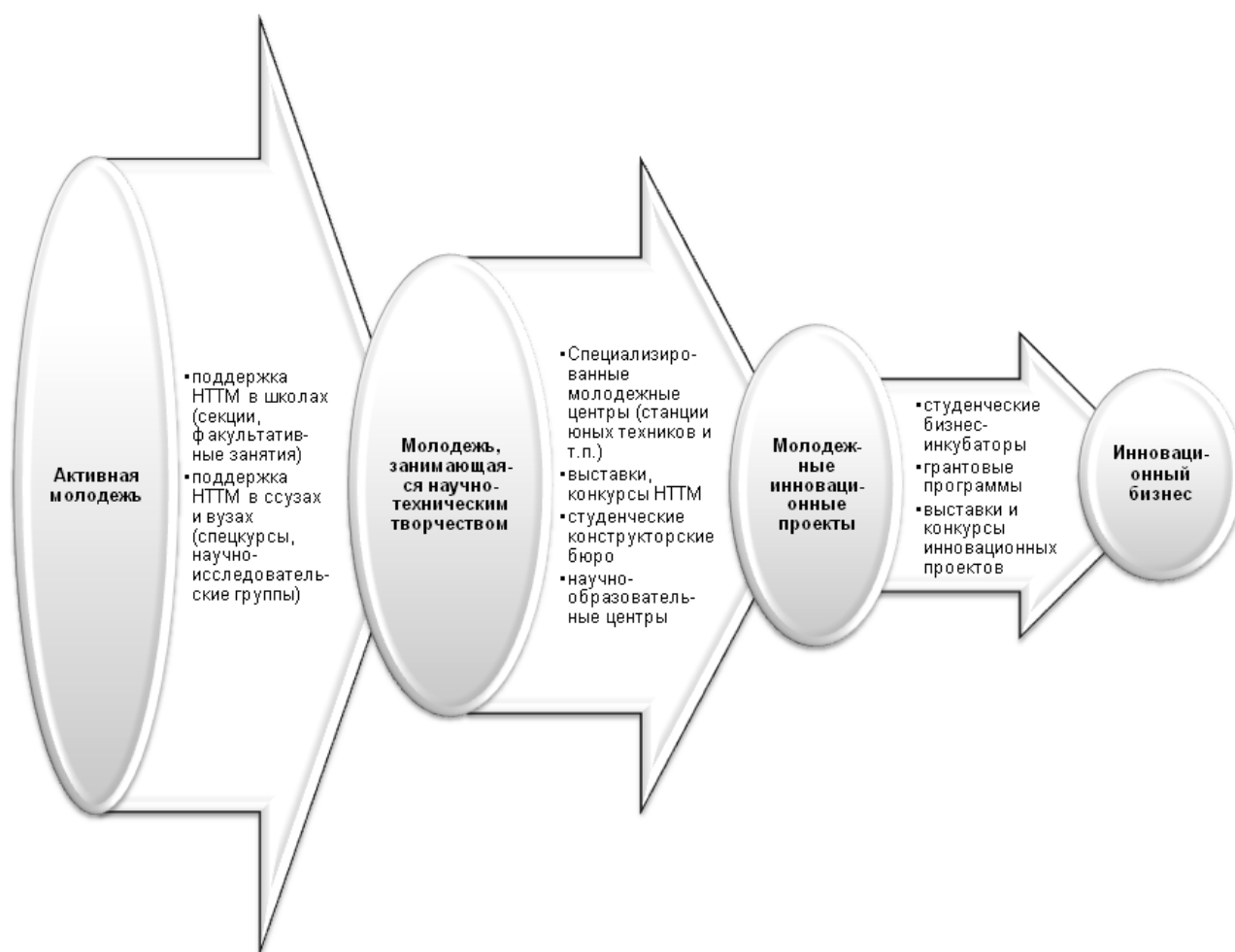


Схема инфраструктуры инновационной деятельности молодежи

данном регионе на основании, во-первых, имеющегося научно-технического задела, и, во-вторых, потребностей региона в развитии тех или иных отраслей социально-экономической сферы.

Основными функциями механизмов этой стадии являются:

- популяризация научно-исследовательской и научно-технической деятельности среди школьной и студенческой молодежи;
- предоставление возможности для каждого молодого человека «попробовать себя» в научной деятельности, чтобы он мог судить о ней не отвлекаясь, а на основании собственного опыта, и решить для себя, способен ли добиться результата в научно-исследовательской сфере, или стоит попробовать себя в чем-то другом;
- развитие у молодежи творческого подхода к решению научно-исследовательских задач, выработка базовых представлений о методах и общих принципах научной деятельности;
- информирование молодежи о возможностях продолжения и развития научно-исследовательской деятельности (перехода на вторую стадию) с ориентацией на последующую коммерциализацию результатов.

Вторая стадия – предоставление специализированных условий для научно-исследовательской деятельности молодежи, сознательно и целенаправленно занимающейся ей. Такие условия, на наш взгляд, должны создаваться уже в относительно самостоятельных формах относительно образовательного процесса, но в то же время таким образом, чтобы образование и научная деятельность не представляли для молодого человека как два разнородных процесса. Из существующих на сегодняшний день таких форм можно выделить секции научно-технического творчества и научно-исследовательские группы школьников, а также студенческие конструкторские бюро и научно-образовательные центры при вузах. Формы, независимые от образовательных учреждений, – это специализированные молодежные центры развития НТТМ, такие как станции юных техников, станции юных натуралистов, в том виде, в котором они сохранились от советской системы НТТМ.

Важным элементом этой стадии являются различные конкурсы, конференции, выставки и форумы молодых ученых и исследователей разного масштаба, мотивирующие молодежь к продолжению своих исследований через общение и соперничество со сверстниками и формирование специфичной молодежной культурной среды, способствующей повышению социального статуса молодого ученого или просто молодого человека, увлекающегося НТТМ. При этом очень важным эффектом является распространение в молодежной среде информации о примерах успешно реализуемых или реализованных инновационных проектов, что дает дополнительный стимул следовать данным примерам.

В качестве общественно значимых функций механизмов этой стадии можно выделить:

- предоставление молодым людям возможности заниматься научно-исследовательской деятельностью в способствующей этому организационно-технической и социальной среде;

- формирование локальных сообществ молодых ученых, исследователей в различных сферах науки и техники;

- формирование у молодежи базовых представлений о том, каким образом результаты интеллектуальной деятельности могут быть защищены с юридической точки зрения и впоследствии реализованы в производстве товаров и услуг, востребованных на рынке;

- формирование у молодежи представлений о том, каким образом и в каких сферах научные разработки могут быть использованы для социально-экономического развития региона.

Третья стадия рассматриваемой инфраструктуры – это формирование инновационных проектов и предоставление им возможностей для развития, ориентированного на конечную цель – внедрение результатов интеллектуальной деятельности в хозяйственный оборот. Важнейшей задачей механизмов данного этапа является содействие в формировании эффективных команд инновационных проектов, включающих как непосредственно разработчиков научно-технического решения, так и тех, кто будет осуществлять управление проектом в рыночной среде, чаще всего это разные люди, и от эффективности их взаимодействия во многом будет зависеть успех проекта, в частности, возможности получения венчурного или иных форм финансирования на «посевной» (seed) стадии инновационного проекта.

Институциональными формами, реализующими механизмы данной стадии, могут быть молодежные студенческие бизнес-инкубаторы, инновационные центры, консультативные центры (как при вузах, так и независимые), оказывающие содействие молодежи в регистрации интеллектуальной собственности, участии в грантовых и конкурсных программах, формировании команды проекта, проведении маркетинговых исследований и т. д.

Перечислим основные функции механизмов на данной стадии:

- формирование у молодых исследователей представлений о процессе реализации и «вывода на рынок» инновационного проекта от регистрации интеллектуальной собственности до привлечения венчурного финансирования и о возможностях привлечения разного рода поддержки в этом процессе;

- формирование эффективных молодежных инновационных проектных команд;

- предоставление инновационным проектам ранней стадии недостающих ресурсов: помещений, консультационной и информационной поддержки, финансовых средств и т. д.

Впоследствии сформированный инновационный проект может пользоваться всем спектром возможностей, предоставляемых инновационной инфраструктурой на разных стадиях его развития с целью снижения рисков и получения недостающих ресурсов. Однако в отличие от последующих стадий, инновационная инфраструктура на рассмотренных «предпроектных» стадиях преследует не цель снижения рисков инновационного процесса (которого, по большому счету, еще нет, а лишь создаются предпосылки для его запуска), а цель формирования условий для результативного включения молодых людей в науч-

но-исследовательскую деятельность, ориентированную на получение инновационного продукта.

Однако в настоящее время координация деятельности элементов системы НТТМ и субъектов инновационной инфраструктуры в России практически отсутствует, или осуществляется на уровне отдельных организаций или учреждений, отдельных инновационных проектов и программ. Это приводит к тому, что переход отдельных представителей молодежи и сформировавшихся молодежных проектных команд между различными стадиями представленной выше схемы затруднен.

Ставшая в последние десятилетия очевидной необходимость интенсивного перехода всех сфер экономики на инновационный путь развития, на увеличение доли высокотехнологичных и наукоемких производств делает актуальным вопрос о создании специализированных структурных единиц вовлечения молодежи в инновационную деятельность, реализующих новые актуальные направления молодежной политики в сфере НТТМ. В настоящее время необходимы дополнительные инструменты реализации инновационного потенциала молодежи, так как развитие проектной научно-технической деятельности молодежи позволит разрешить целый спектр современных социально-экономических проблем, касающихся развития производственного сектора экономики, конкурентоспособности товаров отечественного производства, низкого уровня платежеспособного спроса, диспропорций рынка труда, проблем экологии и т. д.

В качестве одного из возможных путей решения этой проблемы авторы предлагают концепцию создания регионального методического центра по развитию и сопровождению проектов и программ научно-технического творчества и инновационной деятельности молодежи. Целью такого центра является формирование условий для развития научно-технического творчества молодежи и реализации инновационного потенциала активной молодежи региона. Для достижения этой цели методический центр занимает в системе отношений между образовательными, научными, государственными и коммерческими организациями региона позицию координатора по всем вопросам, связанным с участием молодежи в разработке и реализации научно-технических проектов, ориентированных на коммерциализацию их результатов.

Как следствие, такой методический центр должен решать следующие задачи:

- организация работы по разработке программ развития научно-технического творчества и инновационной деятельности молодежи на территории региона;
- мониторинг и анализ результативности участия молодежи в научно-техническом творчестве и инновационной деятельности;
- разработка и содействие в реализации механизма взаимодействия учреждений образования, науки, производственных, государственных и общественных организаций;
- формирование кадрового резерва для высокотехнологичной экономики.

В качестве основы деятельности методического центра предполагаются 3 базовых, тесно взаимосвязанных между собой направления:

- мониторинг проблематики и условий развития НТТМ и инновационной деятельности на территории региона, включающий определение потребностей приоритетных отраслей реального сектора экономики и формирование на их основе ключевых направлений развития НТТМ на данной территории;

- информационное обеспечение и продвижение НТТМ в рамках молодежной политики, в том числе разработка рекомендаций по формированию целевых программ для органов государственной и муниципальной власти в области молодежной политики, информационное обеспечение мероприятий в сфере НТТМ на территории региона и за его пределами, а также сбор и анализ результатов таких мероприятий;

- содействие формированию инновационной культуры молодежи в целях ее вовлечения в научно-исследовательскую, научно-техническую и инновационную деятельность на территории региона (выявление, поддержка и тиражирование эффективных форм популяризации НТТМ среди школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых; проведение исследований по изучению и формированию моделей инновационного поведения молодежи).

Непосредственное осуществление своей деятельности методический центр может осуществлять в форме следующих мероприятий:

- конкурсы научно-технических и инновационных проектов, направленных на решение конкретных проблем региона в целом или отдельных территорий, отраслей экономики, субъектов социально-экономических отношений в регионе;

- выставки результатов НТТМ;

- осуществление постоянной работы по экспертному сопровождению молодежных научно-технических и инновационных проектов;

- научно-практические конференции по развитию НТТМ;

- информационные кампании по популяризации НТТМ на территории региона;

- обучающие программы для молодежи по развитию навыков ведения научно-исследовательской, изобретательской и инновационной деятельности;

- обучающие программы для представителей средних и высших образовательных учреждений, молодежных центров и иных организаций, так или иначе связанных с участием в системе НТТМ.

Таким образом, в представленном исследовании показана необходимость рассмотрения молодежной политики в сфере НТТМ как одного из составных элементов инновационной инфраструктуры, и выполнено выделение стадий включения молодежи в процессы коммерциализации научно-технических разработок. Авторами разработана концепция методического центра по развитию и сопровождению проектов и программ научно-технического творчества и инновационной деятельности молодежи, которая заполнит недостающие звенья в формирующейся инфраструктуре инновационного развития региона и станет проводником молодежной политики в решении первостепенных социально-экономических задач.

Библиографические ссылки

1. Казакова О. Б. Формирование эффективного механизма функционирования инновационной инфраструктуры в регионе // Аудит и финансовый анализ. М. : ДСМ-Пресс. 2007. № 6. С. 403–410.
2. Инновационный менеджмент: Концепции, многоуровневые стратегии и механизмы инновационного раз-

вития : учеб. пособие / под ред. В. М. Аньшина, А. А. Дагаева. 3-е изд., перераб., доп. М. : Дело, 2007.

3. Золкин А. С. О концепции развития центров научно-технического творчества молодежи университетов // В мире научных открытий. Красноярск : ООО «Научно-инновационный центр». 2010. № 1, 2. С. 192–197.

E. V. Sumina, T. A. Chalkin

ROLE OF YOUTH SCIENTIFIC AND TECHNICAL WORK IN THE INNOVATIVE INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION

In this paper we consider correlation between youth scientific and technical work (YSTW) and efficiency of innovative infrastructure functioning. We suggest a new approach to YSTW system modeling based on emphasis of 4 general stages of youth involvement, and for each of the stages the basic functions of respective youth policy mechanisms are defined. For the purpose of coordination of the YSTW system functioning in regional scale we also suggest a concept of methodological center for development and support of youth scientific and technical work and innovative activities projects and programs. The main goal, tasks and key activity trends of such a center are described.

Keywords: scientific and technical work, innovative activity, commercialization of scientific results, innovative potential, youth policy, innovative infrastructure.

© Сумина Е. В., Чалкин Т. А., 2010

УДК 332.133.6

И. С. Ферова, С. Н. Гриб, С. А. Самусенко, М. Б. Двинский

ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ КОНЦЕПЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ В КОНТЕКСТЕ ИННОВАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ)*

Рассмотрена проблема формирования промышленной политики Красноярского края с учетом модернизации экономики и оптимизации структурного воспроизводства. Показано, что промышленность края имеет ряд факторов, ограничивающих ее опережающее развитие, проведен анализ промышленного производства и финансовых результатов по видам экономической деятельности. Предложены основные элементы концепции промышленной политики в контексте инновационной составляющей, а также оценено возможное развитие ведущих отраслей промышленности края с учетом реализации кластерного подхода и инновационной стратегии развития.

Ключевые слова: промышленная политика, инновационная стратегия, кластеры, концепция.

Стратегическое значение Красноярского края в решении общегосударственных задач связано с обеспечением топливно-энергетической безопасности страны, развитием транспортной связанности и целостности территории России, поддержанием конкурентоспособности РФ в части развития экспортного потенциала сырьевых отраслей. Приоритеты федерального центра по развитию экономики Красноярского края в большей степени связаны с освоением природных ресурсов. В настоящее время, доля продукции отраслей, ориентированных на выполнение федеральных приоритетов, доминирует в ВРП.

Большая часть начатых в крае крупных инвестиционных проектов направлено на создание инфраструктуры районов, связанных с развитием добывающих отраслей. В федеральных стратегических документах, отраслевых стратегиях и программах развития крупных корпораций на перспективу до 2030 г. все больше будет усиливаться позиционирование Красноярского края как ресурсного региона. В связи с этим, чрезвычайно актуальной является проблема формирования промышленной политики, которая позволит оптимизировать структуру воспроизводства промышленности края, увеличить долю отрас-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда поддержки науки и научно-технической деятельности (код проекта КФ-78).

лей глубокой переработки в ВРП, а также обеспечит инновационное развитие промышленности и, как следствие, повысит эффективность социально-экономического развития региона [1].

При разработке концепции промышленной политики Красноярского края возникает выбор альтернатив:

- создание условий для масштабного увеличения добычи и первичной переработки природных ресурсов;
- задание ограничений на масштабы наращивания добычи ресурсов; выбор и стимулирование приоритетных видов экономической деятельности, связанных с глубокой переработкой сырья и направленных на усиление конкурентных позиций России и Красноярского края на мировых рынках (например, лесопромышленный кластер).

Анализ производства по видам экономической деятельности показал, что на протяжении последних пяти лет основными источниками доходов промышленности Красноярского края являются металлургия, добыча полезных ископаемых и энергетика [2]. Доля прочих видов деятельности крайне мала и редко составляет более 5 %. Отрицательным здесь является тот факт, что перечисленные отрасли зависимы от общеэкономической конъюнктуры, в частности, от уровня мировых цен на продукцию. Был также проведен анализ факторов, влияющих на выручку промышленных предприятий края. В частности, стоимость отгруженной продукции в статистических данных всегда представляется в действующих ценах. Таким образом, объем отгруженной продукции определяется факторами изменения цен производителей на промышленную продукцию и роста физических объемов отгруженной продукции в сопоставимых цен. В промышленных отраслях Красноярского края присутствуют различные типы зависимостей выручки. Так, в добывающих отраслях, особенно в добыче топливно-энергетических полезных ископаемых, присутствует почти линейная зависимость ($r = 0,98$) доходов от физических объемов и отрицательная корреляция с ценами. Второй фактор, возможно, объясняется общим падением цен при увеличении объемов добываемых полезных ископаемых, а также тем, что снижение цен на энергоносители побуждает производителей компенсировать это за счет роста объемов добычи и продаж.

В производстве металлов и металлических изделий выявлена существенная зависимость объемов получаемой предприятиями выручки от уровня цен производителей, а также определенная обратная связь с физическими объемами. Отчасти это объясняется экспортной направленностью отрасли и, соответственно, зависимостью от уровня мировых цен на основную продукцию отрасли (сталь, алюминий). При общем падении цен увеличение объемов продаж не дает желаемого прироста выручки.

В энергетической отрасли оба фактора сбалансированы: зависимость выручки от объемов продаж линейна ($r = 1$), от цен – значительна ($r = 0,85$).

Таким образом, связанный анализ структуры, динамики и факторов, влияющих на продажи в промышленном секторе Красноярского края выявляет тревожный факт. Наибольшую долю в структуре отгруженной продукции занимает металлургическая отрасль, зависящая от ценовой конъюнктуры. Управление продажами (фи-

зическими объемами) здесь не дает должного эффекта. Следовательно, существенная часть поступлений от промышленного производства и связанные с этим доходы бюджета определяются внешними по отношению к производителю, мало контролируемыми им факторами. Значительная ценовая зависимость, а, следовательно, уязвимость отраслей при общеэкономических кризисных явлениях наблюдается также в деятельности по добыче неэнергетических полезных ископаемых, в обрабатывающей промышленности в целом, особенно – в пищевой, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, химической, а также в транспортном машиностроении.

Положительным является то, что в 2010 г. произошел структурный сдвиг в пользу деятельности по добыче топливно-энергетических ископаемых, выручка от продаж которых контролируется компаниями-производителями и зависит от физических объемов.

Далее был проведен анализ финансовых результатов по видам экономической деятельности.

Показатели рентабельности продаж основного продукта (отношение прибыли от продаж к себестоимости) и индекс соотношения показателей прибыли предприятия до налогообложения к прибыли от продаж приводятся в табл. 1.

Наиболее высокие и устойчивые значения рентабельности основного продукта характерны для отраслей по добыче топливно-энергетических и прочих полезных ископаемых (исключение составляет падение рентабельности в 2007 г. до 10 %), производство кокса и нефтепродуктов, производство неметаллических и минеральных продуктов. Наиболее рентабельный вид экономической деятельности – металлургия.

Соотношение прибыли до налогообложения и прибыли от продаж позволяет оценить качество прибыли, т. е. то, насколько основная деятельность предприятий, осуществляющих данный вид деятельности обеспечивает его финансовый результат. Значение данного индекса, превышающее 1, показывает, что организация получает прибыль и от продаж, и от прочих операций. Чем этот показатель выше, тем большую часть финансовых результатов компания формирует за счет прочих видов деятельности. Это указывает на случайный характер доходов или, при устойчивости тенденции, на то, что промышленная деятельность практически прекращена и предприятия могут, в частности, получать доходы от сдачи в наем пустующих промышленных площадей, т. е. о фактическом репрофилировании деятельности. Описанная ситуация наблюдается в 2006 г. в машиностроении и в 2008 г. в химической промышленности.

Положительные значения, меньшие единицы свидетельствуют о прибыльности по основной деятельности и убыточности – по прочей. Чем ближе значение индекса к нулю, тем большая часть прибыли от обычной деятельности направляется на покрытие прочих расходов. Последнее может свидетельствовать как о неизбежности некоторых видов прочих расходов (например, на аренду, выплату процентов по заемным обязательствам), так и о нерациональной структуре управления привлеченным капиталом. Ситуация существенного использования прибыли от продаж на прочие нужды наблюдается, в частно-

сти, в текстильной промышленности, машиностроении, транспортном машиностроении. Отрицательное значение индекса свидетельствует о том, что прибыль от продаж не достаточна для покрытия убытков от прочей деятельности (пищевая, деревообрабатывающая, химическая промышленности). Нестабильность индексов характерна для нефтеперерабатывающей промышленности, металлургии, производства электрооборудования (значительная часть прибыли от продаж нивелируется убытками от прочих операций). Этот факт может объясняться как значительными инвестициями за счет заемных источников (существенные расходы на уплату процентов в структуре прочих расходов), так и распространенностью аффилированных структур, в которых происходит перераспределение прибыли в пользу компаний, расположенных за пределами Красноярского края.

Расчет показателя прибыльности (как отношение прибыли до налогообложения к выручке компаний) по отраслям промышленности за 2009 – 1 квартал 2010 гг. представлен в табл. 2

В 2010 г. прибыльность всех видов деятельности возрастает по сравнению с кризисным 2009 г., особенно это характерно для энергетической отрасли (рост в 6 раз) и добычи полезных ископаемых (рост в 3 раза).

По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие внутренние системные проблемы и ограничения развития края:

- монопрофильность экономики: сырьевая экономика;
- зависимость от конъюнктуры мирового рынка на первичные ресурсы;
- неравномерность экономического развития в территориальном разрезе;
- дисбаланс между территориями экономического роста и территориями социально-комфортного расселения;
- средний уровень инновационной активности;
- территориальная несбалансированность инвестиционного роста;
- территориальная дифференциация и низкий уровень развития инфраструктуры;
- сокращение демографического потенциала;

Таблица 1

Рентабельность по видам экономической деятельности

Показатели по ВЭД	Рентабельность продаж, %				Индекс (Прибыль до налога / Прибыль от продаж)			
	2005	2006	2007	2008	2005	2006	2007	2008
Добыча полезных ископаемых, в том числе:	38,60	74,10	11,50	67,7	1,16	1,07	1,89	0,23
топливно-энергетических	10,90	30,50	32,10	40,9	-0,19	0,72	0,57	0,73
прочих	74,30	119,80	10,10	90,5	1,60	1,14	2,49	0,03
Обрабатывающие производства, в том числе:	67,50	106,90	106,70	62,5	0,77	0,84	0,95	-0,19
пищевая промышленность	1,80	1,90	2,10	4,90	-0,60	-0,93	-0,32	0,04
текстильная промышленность	-17,0	-8,20	-32,50	10,2	0,90	0,05	0,13	0,01
кожевенная промышленность	18,30	27,70	18,90	14,80	0,86	0,91	0,96	1,17
деревообрабатывающая промышленность	4,80	3,70	12,70	3,50	0,29	0,64	0,47	-1,83
ЦБМ, издательская, полиграфическая	-2,30	5,30	4,40	-9,20	1,57	0,20	0,06	1,05
нефтеперерабатывающая промышленность	57,00	76,90	46,80	46,3	0,29	-0,04	0,33	2,15
химическая промышленность	8,10	0,80	4,00	-1,50	-0,07	-4,11	-0,72	3,29
производство резины и пластмасс	-7,10	-8,50	-0,80	-7,50	1,44	0,86	1,31	0,82
производство неметаллов и минералов	10,70	13,20	25,00	25,4	0,84	1,04	0,93	0,75
металлургия	99,30	161,90	157,10	91,0	0,83	0,92	1,05	-0,29
машиностроение	2,00	-0,20	3,20	8,00	-1,63	18,70	0,07	0,43
производство электрооборудования	10,60	8,70	10,10	7,90	0,81	0,42	0,65	1,85
транспортное машиностроение	-0,90	8,90	7,40	6,50	2,02	0,45	0,27	0,21
прочее	5,50	1,50	2,60	5,30	0,19	0,18	0,02	-0,07
Энергетика	4,10	2,30	1,20	3,10	0,61	2,72	4,23	1,29

Таблица 2

Прибыльность по укрупненным отраслям за 2009 – 1 квартал 2010 гг.

Укрупненные отрасли	Выручка, млн. руб.		Прибыль до налога, млн. руб.		Прибыльность	
	2009	1 квартал 2010 г.	2009	1 квартал 2010 г.	2009	1 квартал 2010 г.
Добыча полезных ископаемых	83 952,00	49 343,11	21 681,90	40 860,40	25,83	82,81
Обрабатывающая промышленность	404 772,00	101 526,15	11 6830,10	40 055,60	28,86	39,45
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	76 970,00	26 759,70	2 417,70	5 420,20	3,14	20,26

- неравномерность пространственного развития по уровню и качеству жизни населения;

- невысокий уровень развития и тенденции деградации социальной инфраструктуры и сферы социальных услуг в ряде районов.

В связи с этим, при разработке концепции промышленной политики в сложившихся условиях необходимо учитывать следующее [1]:

- промышленная политика должна носить не отраслевой, а региональный характер, т. е. высокая конкурентоспособность территории должна держаться на сильных позициях отдельных территориально-производственных кластерах. Поэтому для Красноярского края актуальным является формирование приоритетов развития в разрезе групп территорий с акцентом, как на национальные приоритеты, так и внутрикраевые;

- острой проблемой, решение которой должно быть приоритетным в перспективе, является высокая степень монополизации ключевых конкурентных секторов экономики. В настоящее время это создает условия, ограничивающие действия рыночных механизмов, развитие среднего бизнеса, а также недостаточно высокую мотивацию к внедрению инновации и модернизации. К сожалению, отчуждение части природной ренты в пользу монополистов не является в настоящее время мотивом для разработки и внедрения инновации и модернизации.

На наш взгляд основные элементы механизма промышленной политики заключаются в реализации следующих задач:

- кластерный подход в развитии промышленности региона;

- реализация крупных промышленных проектов;

- развитие частногосударственного партнерства.

При этом все элементы должны быть пронизаны инновационной стратегией [3].

Рассмотрим, с учетом вышеизложенного, особенности развития приоритетных отраслей стратегической специализации Красноярского края.

Лесной комплекс. Развитие лесного комплекса необходимо осуществлять на основе формирования лесопромышленного кластера: развитие предприятий по глубокой переработке древесины, лесного машиностроения, химии, лесоразведения и др.

Основные проблемы отрасли: неэффективность существующей системы управления лесными ресурсами; неэффективность систем лесозаготовки; низкий уровень переработки лесного сырья; экологические проблемы.

Кластер высокотехнологичных отраслей, науки и инновации.

Необходимо понимать, что в ближайшие 10 лет развитие отрасли не принесет существенного эффекта и вклада в формирование ВРП Красноярского края, в данный период необходимо создать задел для создания прорывных направлений развития. Центрами кристаллизации в данной области будут ОАО «Информационно-спутниковые системы имени» имени академика М. Ф. Решетнева» (ГЛОНАСС, производство спутников гражданского назначения), ФГУП «Горно-химический комбинат» (ОЯТ технологии, солнечный кластер), Сибирский федеральный университет, НИИ СО РАН, СибГАУ.

Добыча полезных ископаемых, геологоразведка.

Нефтегазовый комплекс. Основная цель развития нефтегазового комплекса на территории Красноярского края – обеспечение стратегической топливно-энергетической безопасности Российской Федерации, газификация территории Красноярского края, создание условий для развития газо-, нефтехимии.

В период до 2020 г. наиболее важными в отношении добычи полезных ископаемых, как ожидается, будут проблемы освоения и обеспечения надлежащей эффективности эксплуатации месторождений, а также вопросы кадрового обеспечения добывающих отраслей.

Ключевой проблемой в рамках освоения месторождений края является недостаточная степень развития транспортной и энергетической инфраструктуры, что создает значительные сложности освоения вновь открытых и перспективных месторождений.

Геологоразведка. Обладая огромными природными ресурсами Красноярский край характеризуется низким уровнем подтверждения разведанных запасов по широкому спектру сырья.

Инфраструктуро-образующие отрасли экономики.

Транспортно-логистическая инфраструктура. Развитие транспортной инфраструктуры Красноярского края должно осуществляться в целях снижения отрицательного влияния на конкурентоспособность региональных производителей удаленного географического местоположения от основных российских и мировых рынков сбыта; удовлетворения ожидаемого роста мобильности населения и транспортных потребностей грузовладельцев. Приоритетное значение для региона имеют проекты развития транспортной инфраструктуры, направленные:

- на ликвидацию существующих и потенциальных «узких мест» в опорной транспортной сети края;

- развитие и транспортное обеспечение новых промышленных зон экономического роста, прежде всего, в рамках инвестиционных проектов общегосударственного значения;

- обеспечение доступности для населения края воздушного сообщения с центральными и западными регионами России;

- сохранение сети местных аэропортов, прежде всего, в регионах, не имеющих альтернативных наземных видов транспорта.

Энергетическая инфраструктура. Основной целью развития электроэнергетики в период до 2020 г. является обеспечение уровня генерации энергии и плотности передающих сетей, достаточных для удовлетворения потребностей, предъявляемых со стороны отраслей экономики при обеспечении экономической доступности и экологической безопасности генерации и доставки электроэнергии. В связи с этим электроэнергетика должна учитывать три ключевых тренда развития экономики:

- общий рост экономики региона на уровне 3–6 % в год (в зависимости от сценария);

- изменение территориальной структуры потребления электроэнергии, в том числе обусловленное значительным расширением алюминиевой металлургии – крупным потребителем электроэнергии, а также развитием экспорта и межрегиональных потоков электроэнергии;

– снижение электроэнергоемкости производства по большинству отраслей.

Связь и телекоммуникации. Первоочередной целью развития связи и телекоммуникаций является обеспечение достаточной пропускной способности каналов связи для удовлетворения существующих и перспективных потребностей отраслей экономики региона и населения, а также доступности и достаточности телекоммуникационных возможностей для решения задач в рамках социального развития региона. В рамках достижения основной цели необходимо, во-первых, увеличение зоны покрытия услугами связи; во-вторых, повышение доступности и качества предоставляемых услуг.

Вторым направлением является переход на современные телекоммуникационные технологии, в первую очередь, переход на цифровые технологии проводной связи и телевидения.

Развитие отраслей текущей специализации Красноярского края.

Металлургия. Цветная металлургия является традиционной отраслью специализации Красноярского края, формирует значимую часть ВРП и поступлений в бюджетную систему. Развитие отрасли в подавляющей степени определяется динамикой мировых рынков, что практически исключает возможность стратегического управления ее развитием.

Успешная реализация существующего потенциала развития металлургической области в Красноярском крае предполагает решение ряда важнейших проблем, стоящих перед отраслью: это вопросы снабжения сырьем, повышения эффективности производства продукции, а также различные аспекты защиты и расширения рынков сбыта металлургической продукции.

Химия и нефте(газо)химия. В первую очередь требуется создание инфраструктуры для сбора и переработки попутных нефтяных газов в процессе разработки и эксплуатации нефтяных и газоконденсатных месторождений. Для стимулирования организации такой инфраструктуры необходимо предусмотреть возможность налоговых и таможенных льгот для нефтегазовых компаний, реализующих подобные проекты. Следует рассмотреть возможность введения законодательных ограничений на непроектируемую утилизацию попутных нефтяных газов.

Стратегию развития нефте(газо)химии необходимо формировать с учетом того, что в рассматриваемый период будет достаточно жесткая конкуренция за инвестиционные ресурсы со стороны Сибирских регионов.

Машиностроение. В настоящий момент машиностроительные предприятия Красноярского края находятся в достаточно тяжелом состоянии и достижение амбициозных целей по интенсивному развитию отрасли предполагает решение ряда проблем, наиболее значительными из которых являются устаревание технической и технологической базы машиностроительных предприятий, а также ограниченность спроса на продукцию отрасли.

Агропромышленный комплекс. Доля населения, проживающего в сельской местности Красноярского края, составляет 24 % (около 700 тыс. чел.), для которых сельское хозяйство обеспечивает значимую часть доходов, включая натуральную форму. В результате отрасль име-

ет высокое социальное значение. Для успешного развития сельского хозяйства в Красноярском крае необходимо решение проблем по следующим основным направлениям: несоответствие современным требованиям технологической базы сельского хозяйства, дефицит специалистов необходимой квалификации, сложность финансирования текущей деятельности сельскохозяйственных производителей, монополизация со стороны крупнейших региональных переработчиков сельскохозяйственной продукции, слабость логистической структуры.

Туристско-рекреационный комплекс. В рамках развития туристско-рекреационного комплекса Красноярского края ключевыми моментами являются недостаточная координация в части формирования туристско-рекреационных зон, недостаточность условий для развития компонентов туристско-рекреационных зон и усилий по их продвижению.

Локализация приоритетных направлений структурных трансформаций в территориально-отраслевых кластерах.

Территориальная политика и управление территориальным развитием должны стать важнейшей составной частью системы стратегического планирования в Красноярском крае. В стратегии долгосрочного развития региона до 2020 г. эти проблемы будут рассмотрены укрупнено в контексте и взаимосвязи с основными направлениями структурной, инвестиционной и социальной политики региона. Детальная проработка проблем и направлений территориального развития края должна быть рассмотрена в схеме территориального планирования Красноярского края. Возможна разработка генеральной схемы развития и размещения производительных сил Красноярского края, схем развития и размещения производительных сил отдельных территорий.

Целесообразно рассмотреть территориальную структуру экономики Красноярского края как в широтном разрезе (при этом каждая из широтных зон будет иметь выраженную стратегическую специализацию), так и в разрезе укрупненных территориальных образований.

Красноярский Север. Образ будущего Красноярского Севера – это индустриальные комплексы нового поколения: металлургический и нефтегазовый, сохраненный природно-экономический потенциал традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, модернизированная энергетика и транспортно-коммуникационные системы, адекватные требованиям постиндустриального общества. Развитая транспортная инфраструктура на новом технологическом базисе, арктическая авиация, система поселений с высоким качеством и надежностью систем жизнеобеспечения, сочетающая базовые города и мобильные вахтовые поселки.

В качестве первоочередных задач в период реализации «Стратегии долгосрочного социально-экономического развития Красноярского края до 2020 г.» должны рассматриваться формирование Норильско-Турханского ТПК и Нижне-Енисейского ТЛУ (Игарка, Дудинка, Диксон).

В Северных районах видится целесообразным вахтовый способ освоения ресурсов региона, необходимость реализации программ переселения с Севера на Юг (красноярская агломерация, южные районы), закрытие непер-

спективных поселений через укрупнение существующих населенных пунктов.

Нижнее Приангарье. Новый промышленно-сырьевой район, максимально приближенный к чрезвычайно емкому рынку стран АТР. Основная цель развития Нижнего Приангарья – комплексное использование ресурсного потенциала региона на основе создания и развития комплексов энергоемких производств (энергетика, металлургия и др.) и создание высокотехнологического кластера по глубокой переработке древесины (производство строительных материалов, конструкций и сборных домов (деревянное домостроение), обрабатывающие производства на основе сырьевой базы ЛПК (древесина, бумага, целлюлоза, плиты МДФ), переработка отходов ЛПК, производство деревянных шпал (пропитанных), строительная индустрия, инжиниринг в области ЛПК, создание систем проживания в условиях севера, подготовка кадров для ЛПК). Основой развития Нижнего Приангарья является реализация инвестиционного проекта «Комплексное развитие Нижнего Приангарья», предусматривающего развитие энергетической и транспортной инфраструктуры в районе Нижнего Приангарья (за счет бюджетных средств), требуемой для обеспечения строительства объектов промышленности и электроэнергетики (за счет средств частных инвесторов).

Развитие лесопромышленного комплекса, энергетики и металлургии на территории региона будет способствовать созданию большого количества новых рабочих мест. Одновременно, развитие предприятий указанных комплексов и обслуживающих отраслей и существующая система расселения будут не совпадать, что в свою очередь может спровоцировать миграционные потоки внутри региона, имеющие как маятниковый или сезонный характер, так и постоянный. Данный процесс будет усиливаться развитием гидроэлектроэнергетики. В результате, необходимо пересмотреть существующую территориальную организацию населения с привязкой к новым направлениям экономического развития.

Центральные и южные районы края. Центральные районы Красноярского края: основа развития – формирование Красноярской агломерации.

Направления развития: высокотехнологичные отрасли экономики, экономика знаний, транспортно-логистический центр, сфера услуг, малый бизнес.

Важнейшим приоритетом развития городских поселений края является формирование крупнейшей агломерации вокруг административно-экономического центра – города Красноярска. В долгосрочной перспективе именно Красноярская агломерация должна стать новым сибирским центром экономики знаний, а также важнейшим транспортно-логистическим узлом. В свою очередь, достижению указанной цели будет способствовать рост численности и концентрации населения.

Южные районы Красноярского края. Направления развития: сельское хозяйство, туристско-рекреационная зона; формирование благоприятной среды для жизнедеятельности, поддержание постоянной численности населения, повышение демографических показателей.

С точки зрения инновационной составляющей край обладает значительным инновационным потенциалом, но ключевой проблемой является отсутствие четкой струк-

туризации процессов внедрения инновации, значимой инфраструктуры. Край не является регионом лидером в инновационной сфере. Так, несмотря на то, что в структуре промышленности Красноярского края есть предприятия, относящиеся к высокотехнологичным, большое количество вузов, исследовательских институтов СО РАН, комплексный потенциал инновационности в сравнении с другими регионами (по исследованиям в рамках технологического форсайта на федеральном уровне) имеет невысокое значение комплексного индекса инновационности (попадает в 4-ую группу «средний инновационный потенциал»). Это в будущем может повлиять на возможность получения как государственных, так и частных инвестиций на развитие инновационных секторов.

Приоритетами в стратегии инновационного развития края может стать:

- масштабное включение при формировании кластера высокотехнологичных отраслей в федеральные программы и проекты, программы госкорпораций;
- создание научно-образовательного кластера в Красноярской агломерации, охватывающего все уровни и учреждения образования, ядром которого должны стать два вуза: СФУ и СибГАУ;
- развитие сектора инновационного предпринимательства на основе формирования региональной технико-внедренческой зоны, развитие сети бизнес-инкубаторов, создание нескольких технопарков при участии крупных компаний.

Технологическая модернизация необходима подавляющему числу предприятий края. Фактически приоритеты модернизации в условиях ограниченных инвестиционных ресурсов будут связаны с выбором ограниченного числа предприятий в отраслях стратегической специализации и созданием механизмов для привлечения федеральных и региональных ресурсов на модернизацию. При этом необходимо делать выбор по стратегии модернизации: либо модернизация будет направлена на улучшение технико-экономических показателей деятельности, либо кардинальная модернизация связана со сменой технологии, изменением номенклатуры и качеством выпускаемой продукции, глубиной переработки, передела [4].

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать вывод о приоритетах инновационного развития промышленности края, а также о возможностях использования кластерного подхода как инструмента реализации эффективной промышленной политики. Результаты исследования могут быть использованы органами управления Красноярского края при разработке Стратегии социально-экономического развития и формировании Концепции промышленной политики.

Библиографические ссылки

1. Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008. № 1662-р. М., 2008.
2. Краткосрочные социально-экономические показатели Красноярского края : сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.krasstat.gks.ru/public/Lists/List3/view.aspx?PageView=Shared>.

3. Кузнецов Е. Механизмы запуска инновационного роста в России // Вопросы экономики. 2003. № 3. С. 4–26.
4. Базовый доклад министра А. Фурсенко к обзору ОЭСР национальной инновационной системы РФ «На-

циональная инновационная система и государственная инновационная политика РФ». М., 2009.

I. S. Feroва, S. N. Grib, S. A. Samusenko, M. B. Dvinskiy

APPROACHES TO FORMATION OF INDUSTRIAL POLICY CONCEPT IN THE CONTEXT OF INNOVATION COMPONENT (ON THE EXAMPLE OF KRASNOYARSK REGION)

The article dwells upon a problem of Krasnoyarsk region industrial policy formation with regard to economy modernization and structural reproduction optimization. It is shown that regional industry has a number of factors limiting its accelerated development; industrial production and financial results were analyzed by types of economic activity. Basic elements of industrial policy concept were suggested in scope of innovations; perspective development of leading industrial branches of the region was estimated in compliance with innovation strategy of development and implementation of the cluster approach.

Keywords: industrial policy, innovation strategy, clusters, concept.

© Ферова И. С., Гриб С. Н., Самусенко С. А., Двинский М. Б., 2010

УДК 330.341.1:62.001.7

Т. А. Чалкин, Г. Я. Белякова

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ*

Рассмотрена институциональная инфраструктура управления инновационной деятельностью как совокупность отдельных субъектов экономических взаимоотношений, объединенных общей целью снижения рисков инновационной деятельности и увеличения объема производства инновационной продукции. В рамках проведенного исследования на основе данных о существующих институтах поддержки инноваций в Российской Федерации и Красноярском крае построена трехуровневая структурная модель инновационной инфраструктуры, отражающая основные принципы и механизмы взаимодействия субъектов в ней.

Ключевые слова: инновационная деятельность, институциональная инфраструктура, управление инновациями, стадии инновационного процесса, механизмы поддержки инноваций, снижение рисков.

В последние годы вопрос инновационного переустройства экономики России стал ключевым как для государственных институтов, так и для многих коммерческих структур и общественных организаций. При этом активно ведется научно-исследовательская и практическая работа по механизмам создания институтов инновационной инфраструктуры, призванных осуществлять эффективное управление инновационной деятельностью.

Общий объем вложений в инновационную сферу из бюджетных источников в России достигает 1,3 % от ВВП, но те средства, которые приходят в инновационный сектор, не приносят должного эффекта. При этом доля инновационной продукции в экспорте выше, чем на внутреннем рынке, что указывает на невосприимчивость оте-

чественной экономики к инновациям. Таким образом, в инновационной сфере страны на сегодняшний день остается нерешенным целый пласт системных проблем, в первую очередь, проблема эффективности функционирования инновационной инфраструктуры [1].

Под инновационной деятельностью будем понимать деятельность, направленную на создание и внедрение новых идей, научных знаний, технологий и видов продукции в различные области производства и сферы управления обществом, результаты которой используются для экономического роста и повышения конкурентоспособности. Как правило, инновационная деятельность осуществляется в рамках инновационных проектов различной направленности и масштаба. Под инновационным про-

*Работа выполнена при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности.

ектом будем понимать комплекс мероприятий, направленных на внедрение инноваций и предусматривающих инвестиции, а также реализуемых в течение определенного срока времени и имеющих завершённый характер.

Рассматривая инновационные проекты в разрезе инвестиционной политики организации, можно выделить следующие основные преимущества инвестиций в инновации:

- повышенная по сравнению с ненаукоёмкими инвестиционными проектами норма прибыли;
- увеличение объема рынка сбыта продукции (товаров или услуг) как в рамках существующих рыночных ниш, так и благодаря расширению портфеля видов реализуемой продукции;
- получение возможности лидерства на рынке за счет использования механизма охраны интеллектуальной собственности и временного отрыва в освоении новой или усовершенствованной продукции от конкурентов;
- снижение себестоимости продукции за счет технологического перевооружения производственных и вспомогательных процессов.

В то же время исследователи выделяют ряд факторов риска, специфических для инновационных проектов, среди которых:

- возможность возникновения противоречия между инновацией и существующими технологическими, производственными, рыночными ограничениями (в этом случае инвестиции в проект останутся без отдачи);
- повышенная длительность инвестиционного цикла;
- повышенная сложность процесса, вызывающая трудности с осуществлением планирования из-за высокой степени неопределенности на стадиях НИОКР и пилотной реализации;
- опасность копирования инновационного продукта конкурентами;
- повышенные квалификационные требования к участникам инновационного проекта (как к непосредственным исполнителям, так и к отвечающим за управление и контроль над процессом) [2].

Наличием вышеописанных факторов и обусловлена потребность в создании инновационной инфраструктуры различного уровня, главная задача которой – снижение разного рода рисков, возникающих в процессе инновационной деятельности.

Осуществление этой задачи в институтах инновационной инфраструктуры достигается путем осуществления централизованными инфраструктурными субъектами части функций по управлению инновационной деятельностью. Состав и содержание этих функций различаются в зависимости от конкретных форм институционализации: бизнес-инкубатор, центр трансфера технологий, венчурный фонд, технологический парк и т. д.

Целью данной работы является разработка научно обоснованной стратегии формирования институциональной инновационной инфраструктуры на основе анализа и экономического обоснования использования механизмов управления и поддержки инновационной деятельности.

Рассматривая совокупность институтов управления инновационной деятельностью как основу для построения региональной инновационной инфраструктуры, т. е.

системы снижения рисков инновационного развития региона в целом, мы сталкиваемся с необходимостью выстраивания единой понятной всем участникам процесса – как в государственном, так и в частном секторе – модели преобразования этой совокупности в систему, т. е. превращения из простой суммы составляющих элементов в объединение, в котором элементы взаимно развивают и дополняют друг друга.

Возьмем за основу модели декомпозицию инновационного процесса во времени – будь то инновационный проект, внедряемый на существующем предприятии, или проект, ориентированный на создание нового хозяйствующего субъекта – производителя новой продукции или использующего новую технологию ее производства. Наиболее распространенной декомпозицией по стадиям инновационного процесса на сегодняшний день является схема, представленная на рис. 1 [3].

Каждый из трех этапов инновационного процесса: научное исследование, апробация, внедрение – характеризуется свойственными ему видами рисков, которые в соответствии со своим предназначением, должна минимизировать инновационная инфраструктура в целом как система и составляющие ее элементы.

Рассмотрим в контексте такой декомпозиции рисков существующие на сегодняшний день формы институтов управления и поддержки инновационной деятельности. Их распределение по стадиям инновационного процесса приведено на рис. 2.

В этом распределении разграничиваются понятия поддержки и управления инновационной деятельностью как различных по содержанию механизмов функционирования инновационной инфраструктуры. Под «поддержкой» в данном контексте будем понимать финансовое обеспечение затрат, необходимых для осуществления инновационного процесса, происходящее на возвратной или безвозвратной основах. В свою очередь, управление инновационной деятельностью – это материально-техническое, кадровое, информационное и инфраструктурное обеспечение процесса развития инновационного проекта, в процессе которого институт поддержки непосредственным образом участвует в реализации функций управления проектом: планирование, осуществление, контроль и анализ эффективности управленческих решений. Подобное разделение приемлемо, поскольку в большинстве случаев функции поддержки и управления инновационным процессом осуществляются различными субъектами инновационной инфраструктуры, хотя существуют и субъекты, объединяющие эти два направления, например, бизнес-ангелы, которые помимо рискованного инвестирования в инновационные проекты на ранней стадии, осуществляют также организационно-управленческое и информационное обеспечение их реализации.

Подробное описание каждой формы содействия инновационной деятельности со стороны институтов инновационной инфраструктуры выходит за рамки данной работы, тем не менее, остановимся на основных особенностях этих форм на каждой стадии.

На этапе осуществления научного исследования основная задача поддержки и управления инновационной деятельностью – минимизировать риск ошибочного вы-



Рис. 1. Стадии инновационного процесса



Рис. 2. Распределение существующих форм поддержки и управления инновационной деятельностью по стадиям инновационного процесса

бора научных и научно-технических принципов, на основе которых будет осуществляться дальнейший процесс разработки и внедрения нововведения, а также риск неполного или неглубокого исследования этих принципов. В соответствии с этим, инновационная инфраструктура на этой стадии выполняет следующие функции:

- финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ: проведение экспериментов и испытаний, приобретение необходимого для исследований оборудования, оплата труда научно-исследовательских работников в предметной области и прочие затраты, связанные с получением нового научного или научно-технического знания, имеющего прикладное значение;
- материально-техническое и кадровое обеспечение проведения НИОКР, предоставление помещений и оборудования для осуществления лабораторных исследований и испытаний.

Основной класс рисков, возникающий на этапе апробации инновационного проекта, связан с противоречиями между техническими и технологическими решениями и ожиданиями потребителей инновационной продукции. Следовательно, инновационная инфраструктура должна решать следующие задачи:

- финансирование изготовления опытных образцов продукции и их испытаний, в том числе в условиях эксплуатации (а не в лабораторных, как на предыдущей стадии);
- финансирование производства и реализации пилотной партии продукции;
- обеспечение правильного рыночного позиционирования инновационного продукта, определение структурных механизмов его производства, поставок сырья и реализации продукции потребителю – выстраивание бизнес-модели инновационного проекта;
- предоставление организационно-управленческих, информационно-аналитических, материально-технических ресурсов для начала производства продукции и формирования соответствующей организационной структуры.

На этапе внедрения предполагается, что технологические риски уже сняты на более ранних этапах, и на первое место выходят риски рыночного характера – несоответствия объема спроса и предложения, неверного выбора целевой аудитории, состояния конкурентной среды и недостаточности механизмов защиты интеллектуальной собственности на инновационный продукт. Соответственно, на данной стадии институты инновационной инфраструктуры должны в первую очередь решать задачи, связанные с экономической составляющей инновационного процесса:

- инвестиционное обеспечение выхода производства на необходимый для достижения рентабельности объем;
- обеспечение инновационного бизнеса инфраструктурными, логистическими, обслуживающими, кадровыми ресурсами для поддержания его роста;
- поддержка инновационного бизнеса в освоении новых рынков, расширении и развитии спектра видов деятельности, содействие в разработке, апробации и внедрении новых инновационных решений на базе существующих.

Таким образом, инновационная инфраструктура как система представляет собой структурированную по зада-

чам и месту в инновационном процессе общность институтов, каждый из которых решает достаточно узкий круг функций по минимизации рисков инновационного процесса. Таким образом, для функционирования инновационной инфраструктуры необходимы механизмы, объединяющие эти институты в соответствии с общей целью всей системы – минимизации потерь от реализации всей совокупности рисков инновационного процесса.

Место этих механизмов в инновационной инфраструктуре может быть проиллюстрировано в виде трехуровневой схемы (рис. 3).

На наш взгляд, целесообразно выделить 4 основных механизма, обеспечивающих функционирование инновационной инфраструктуры как системы.

1. *Нормативное обеспечение*, включающее как правовые нормы, регулирующие взаимоотношения субъектов инновационной деятельности и институтов поддержки инноваций, так и концептуальные стратегические документы, регламентирующие долгосрочную государственную политику в области инноваций. Сюда также можно отнести разного рода нормативно-методические документы, задающие единые (установленные законодательно или неглавные) принципы поддержки и управления инновационной деятельностью институтами инновационной инфраструктуры (в качестве примера можно привести принципы инвестиционной политики венчурных фондов и бизнес-ангелов). Институциональные формы реализации этих механизмов: органы законодательной и исполнительной власти на всех уровнях (федеральном, региональном и муниципальном), некоммерческие организации, объединяющие институты управления инновационной деятельностью (например, НП «Российская ассоциация венчурного инвестирования», НП «Национальное содружество бизнес-ангелов» и т. д.).

2. *Подготовка кадров* как для управления и развития отдельных инновационных проектов, так и для институтов инновационной инфраструктуры, причем речь идет как о высшем профессиональном образовании, так и о дополнительном образовании для специалистов в области менеджмента, маркетинга, финансов, имеющем целью дать им практические навыки применения собственных компетенций в новой области управления инновационной деятельностью. Сюда же следует отнести развитие различных институциональных форм научно-технического творчества молодежи, начиная со школьного возраста, формирование условий для как можно более раннего включения активной в научном плане молодежи в инновационную деятельность, как в рамках образовательных учреждений, так и отдельных институтов. Институциональные формы: учреждения среднего, высшего и дополнительного образования, консалтинговые компании, специализированные программы, направленные на формирование инновационной культуры в молодежной среде (например, «Звoryнский проект» Федерально-го агентства по делам молодежи РФ).

3. *Трансфер технологий*, включающий механизмы передачи информации об инновационных проектах между институтами поддержки и управления инновационной деятельностью, снижающие риски перехода проекта с одной стадии инновационного процесса на следующий.

Сюда относятся такие институты как сети трансфера технологий, инвестиционные «биржи» (информационно-презентационные ресурсы, объединяющие технологические и инвестиционные запросы и предложения), региональные и федеральные инновационные центры, объединяющие данные об инновационных проектах в масштабах региона или страны в целом.

4. *Источники финансирования* механизмов поддержки инновационной деятельности, включающие как прямое выделение средств из бюджета, так и различные институты распределения бюджетных средств среди институтов инновационной инфраструктуры (например, ОАО «Российская венчурная компания»). Помимо этого, существуют и частные источники финансирования институтов поддержки инноваций, как коммерческого, так и некоммерческого (благотворительного) характера, причем последние функционируют практически исключительно на стадии научного исследования, после чего работают преимущественно коммерческие источники средств.

Таким образом, в институциональной инфраструктуре управления инновационной деятельностью можно выделить 3 «слоя»:

- 1) отдельные инновационные проекты, имеющие разнообразные формы институционализации;
- 2) институты поддержки и управления инновациями 1 порядка, взаимодействующие напрямую с инноваци-

онными проектами, дифференцированные по стадии инновационного процесса и по форме взаимодействия с проектом;

- 3) институты инновационной инфраструктуры 2 порядка, представляющие собой формы объединения относительно разрозненных субъектов двух нижних слоев в единую инновационную систему с целью достижения эффекта синергии от их деятельности.

Причем, если задача институтов 1 порядка – снижение рисков конкретных инновационных проектов, то задача институтов 2 порядка – снижение рисков уже институтов 1 порядка.

Таким образом, на текущем этапе работы построена обобщенная трехуровневая структурная модель институциональной инфраструктуры управления инновационной деятельностью, позволяющая моделировать взаимодействия участников данной системы на основе выделения основных механизмов и принципов их функционирования. В дальнейшем, на основе представленной модели и данных о существующих институтах инновационной инфраструктуры в Красноярском крае и на федеральном уровне планируется разработка методики применения механизмов формирования и развития институциональной инфраструктуры управления инновационной деятельностью, обеспечивающей эффективность расходования финансовых средств на создание и развитие институтов поддержки инноваций.

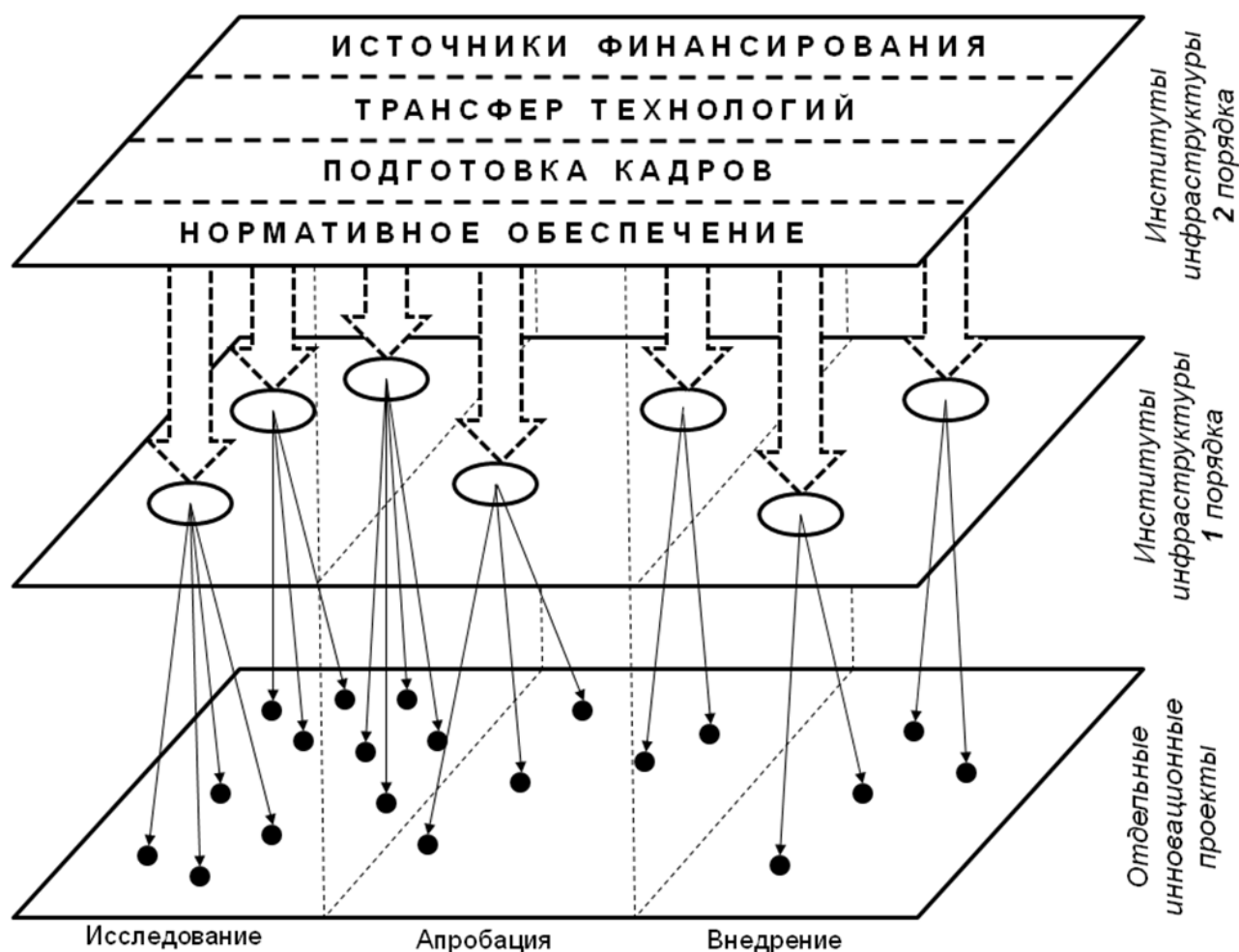


Рис. 3. Схема трехуровневой модели инновационной инфраструктуры

Библиографические ссылки

1. Сахаров С. К. Состояние национальной инновационной системы: основные тенденции и перспективы. Основные направления государственного регулирования // Проблемы формирования инновационного поведения молодежи в современной России : тр. Всерос. науч. конф. М. : РИЦ МГТУ им. М. А. Шолохова, 2009.

2. Антонец В. А., Нечаева Н. В. Основы коммерциализации технологий : учеб.-метод. материал. Н. Новгород, 2007.

3. Инновационный менеджмент: Концепции, многоуровневые стратегии и механизмы инновационного развития : учеб. пособие / под ред. В. М. Аньшина, А. А. Дагаева. 3-е изд., перераб., доп. М. : Дело, 2007.

T. A. Chalkin, G. Y. Belyakova

STRUCTURAL MODEL OF INNOVATIVE ACTIVITIES MANAGEMENT INSTITUTIONAL INFRASTRUCTURE

In this paper we consider innovative activities management institutional infrastructure as aggregate of individual subjects of economic relations united by general goal: decrease of innovative activities risks and increase of innovative production volume. As a result of conducted study the three-level structural model of innovative infrastructure reflecting basic principles and mechanisms of its subjects interaction was developed on the basis of information about existing innovations support institutes in Russian Federation and in Krasnoyarsk Region, in particular.

Keywords: innovative activities, institutional infrastructure, innovations management, innovative process stages, innovations support mechanisms, decrease of risks.

© Чалкин Т. А., Белякова Г. Я., 2010

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абкарян Артур Карлосович – кандидат технических наук, доцент кафедры литейного производства и обработки металлов давлением политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1987 г. Область научных интересов – порошковая металлургия, композиционные материалы, рентгеновские методы исследования материалов. E-mail: abkaryan_artur@mail.ru.

Авакумов Роман Владимирович – инженер РЦ космических аппаратов и систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – физика конденсированного состояния. E-mail: ravakumov@yandex.ru.

Алдонин Геннадий Михайлович – кандидат технических наук, профессор кафедры приборостроения и нанoeлектроники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1996 г. Область научных интересов – теория самоорганизации, медицинская электроника. E-mail: galdonin@sfu-kras.ru.

Александрин Антон Михайлович – инженер, аспирант кафедры радиотехники Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – антенны и устройства СВЧ. E-mail: aalexandrin@sfu-krasn.ru.

Алешечкин Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1994 г. Область научных интересов – теория самоорганизации, медицинская электроника. E-mail: tpre@yandex.ru.

Быбина Яна Юрьевна – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – связь с общественностью. E-mail: yan-89@vail.ru.

Бахвалова Ирина Петровна – кандидат химических наук, руководитель проектов, руководитель центра испытаний и экспертиз ООО «Диолаб». Окончила Красноярский государственный университет в 1977 г. Область научных интересов – аналитическая химия, стандартизация деятельности лабораторий. E-mail: irbah@mail.ru.

Баякин Сергей Геннадьевич – кандидат технических наук, член-корреспондент Международной академии наук экологии и безопасности, заместитель директора СКТБ «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Сибирский технологический институт в 1976 г. Область научных интересов – применение инновационной технологии «Термокок». E-mail: mitra53@mail.ru.

Безитский Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в

2006 г. Область научных интересов – оптимизация, анализ данных, интеллектуальные информационные технологии, моделирование. E-mail: bezhitsk@mail.ru.

Белозерцев Владимир Семенович – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1974 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов. Т. 262-95-61.

Беляев Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой литейного производства института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский институт цветных металлов в 1981 г. Область научных интересов – прессование металлов. E-mail: 244812@mail.ru.

Белякова Галина Яковлевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности в 1969 г. Область научных интересов – региональная экономика. E-mail: belyakova@sibsau.ru.

Большаков Дмитрий Андреевич – инженер научно-образовательного центра космических систем и технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – прикладная электроника, радиотехника.

Бочарова Елена Валерьевна – старший преподаватель кафедры экономики и организации предприятий энергетического и транспортного комплексов Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский политехнический институт в 1998 г., Региональный финансово-экономический институт (г. Курск) в 2006 г. Область научных интересов – нетрадиционные возобновляемые источники энергии, проблемы повышения эффективности энергетического производства, энергосбережение. E-mail: bochalena@mail.ru.

Боякова Татьяна Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологии и электротехники Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский политехнический институт в 1990 г. Область научных интересов – электротехнологические установки и системы. E-mail: boyakova_ta@mail.ru.

Браверман Владимир Яковлевич – доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов. E-mail: braverman-vladimir@rambler.ru.

Бусыгин Сергей Леонидович – старший преподаватель кафедры оборудования и технологии сварочного

производства политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – контактная сварка. E-mail: politex_1999@bk.ru.

Бухарова Евгения Борисовна – кандидат экономических наук, доцент, директор института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончила Новосибирский государственный университет в 1976 г. Область научных интересов – региональная экономика, промышленная политика. E-mail: buharova@lan.krasu.ru.

Вейсер Татьяна Геннадьевна – аспирант кафедры систем автоматизированного управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов. Т. 8(391)262-95-61.

Ветошкин Владимир Николаевич – генеральный директор ЗАО «Автоматика». Окончил Красноярский политехнический институт в 1981 г. Область научных интересов – электроника, медицина, астрономия. Т. 8(391)249-82-23.

Виноградов Виктор Алексеевич – главный инженер Химического завода – филиала ОАО «Красмаш». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1974 г. Область научных интересов – производство ракетной техники, нефтепереработка. E-mail: Techhz@yandex.ru.

Витковская Людмила Константиновна – кандидат экономических наук, доцент, заместитель директора института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 1989 г. Область научных интересов – социальная статистика, управление человеческими ресурсами. E-mail: luda@lan.krasu.ru.

Власов Антон Юрьевич – кандидат физико-математических наук, заместитель директора научно-образовательного центра космических систем и технологий, доцент кафедры физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – физика магнитных явлений, механика твердого деформируемого тела. E-mail: vay@atomlink.ru.

Волков Никита Валентинович – доктор физико-математических наук, заместитель директора Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1984 г. Область научных интересов – физика конденсированного состояния, физика магнитных явлений. E-mail: volk@iph.krasn.ru.

Володин Алексей Александрович – ведущий инженер отдела информационных технологий Красноярского центра стандартизации и метрологии. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1998 г. Область научных интересов – информационные технологии. E-mail: volodin@krascsn.ru.

Волошин Александр Михайлович – заместитель главного инженера Саяно-Шушенской ГЭС. Окончил Красноярский политехнический институт в 1979 г. Область научных интересов – электроника, радиоизмерения. Т. 8(391)291-22-51.

Встовский Алексей Львович – кандидат технических наук, профессор кафедры электротехнических комплексов и систем политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1965 г. Область научных интересов – специальные электрические машины, возобновляемые источники энергии, компьютерные технологии. E-mail: val_1942@mail.ru.

Гаджиев Вахид Фархадович – магистр техники и технологии, руководитель проектов ООО «Энерготехнологические системы». Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – переработка твердых углеводородных топлив. E-mail: vakhid.mail@mail.ru.

Гехман Александр Вениаминович – кандидат технических наук, заместитель директора по общим вопросам Красноярского центра стандартизации и метрологии. Окончил Красноярский политехнический институт в 1978 г. Область научных интересов – информационные и телекоммуникационные технологии. E-mail: avg@krascsn.ru.

Глинчиков Вячеслав Александрович – кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1965 г. Область научных интересов – фазовые системы управления, цифровая схемотехника. E-mail: va_glin@mail.ru.

Головенко Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологии и электротехники политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2001 г. Область научных интересов – электротехнологические установки и системы, магнитная гидродинамика, воздействие на расплавы, техника индукционного нагрева. E-mail: golovenko_ea@mail.ru.

Головин Михаил Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой проектирования и экспериментальной механики машин политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1968 г. Область научных интересов – машиноведение, компьютерные технологии, возобновляемые источники энергии. E-mail: mpgolovin@gmail.com.

Головина Людмила Николаевна – доцент кафедры начертательной геометрии и черчения политехнического института Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный технический университет в 1979 г. Область научных интересов – компьютерные технологии, возобновляемые источники энергии. E-mail: ln_golovina@mail.ru.

Гондарев Виктор Викторович – главный инженер ООО НПФ «Фаза». Окончил Красноярский политехнический институт в 1977 г. Область научных интересов – измерительная техника, датчики. Т. 8(391)291-22-39.

Горемыкин Виталий Андреевич – аспирант кафедры электротехнологии и электротехники Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2010 г. Область научных интересов – дозирование жидких металлов, оптимизация сложных технических систем. E-mail: vir t38@mail.ru.

Гриб Светлана Николаевна – кандидат экономических наук, доцент, заместитель декана экономического факультета института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 1994 г. Область научных интересов – бюджет Российской Федерации, финансовая система. E-mail: sng@lan.krasu.ru.

Губанов Иван Юрьевич – старший преподаватель кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярскую государственную академию цветных металлов и золота в 1998 г. Область научных интересов – прессование металлов. Т. 8(391)213-33-80.

Даничев Алексей Александрович – доцент кафедры социальных технологий института педагогики, психологии и социологии Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2002 г. Область научных интересов – оптимизация в порядковых шкалах, дискретное программирование, математическая статистика. E-mail: aleksey-d@inbox.ru.

Двинский Михаил Борисович – доцент кафедры социально-экономического планирования института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный университет в 1996 г. Область научных интересов – региональная экономика. Т. 8(391)244-67-59.

Демченко Александр Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1996 г. Область научных интересов – контактная сварка. E-mail: dealig@rambler.ru.

Доронин Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник СКТБ «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский институт цветных металлов в 1985 г. Область научных интересов – конструкционная прочность. E-mail: s.doronin@gmail.com.

Дубровский Виталий Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Томский политехнический институт в 1966 г. Область научных интересов – теплоэнергетика, эколого-энергосбережение, эффективное использование углей Канско-Ачинского бассейна. E-mail: vitdudrov@mail.ru.

Еремин Евгений Владимирович – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1995 г. Область

научных интересов – физика конденсированного состояния, физика магнитных явлений. E-mail: eev@iph.krasn.ru.

Желудько Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – теория самоорганизации, медицинская электроника, радионавигация. E-mail: zheludko@krascsn.ru.

Журавлев Валентин Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, проректор – директор института фундаментальной подготовки Сибирского федерального университета. Окончил Московский ордена Ленина энергетический институт в 1967 г. Область научных интересов – математические задачи системного анализа. E-mail: vzhuravlev@stu-kras.ru.

Зайцев Павел Александрович – аспирант кафедры технической механики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – проектирование механических систем космических аппаратов. E-mail: zaytsev@sibsau.ru.

Залиханов Михаил Чоккаевич – академик Российской академии наук, председатель подкомитета по проблемам устойчивого развития России Государственной думы РФ, Герой Социалистического Труда. Окончил Кабардино-Балкарский университет в 1962 г. Область научных интересов – применение инновационной технологии «Термококс». E-mail: mitra53@mail.ru.

Зубова Марина Витальевна – кандидат экономических наук, доцент института управления бизнес-процессами и экономики Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный технический университет в 1993 г. Область научных интересов – оценка эффективности инновационных энерготехнологий. E-mail: mvzubova@mail.ru.

Иптышев Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, исполнительный директор Красноярского государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности». Окончил Хакасский технический институт – филиал Красноярского государственного технического университета в 1998 г. Область научных интересов – приводные системы, зубчатые передачи, приводы специального назначения, системный анализ, инновационный менеджмент. E-mail: i@sf-kras.ru.

Исаков Юрий Владимирович – инженер-конструктор Центрального конструкторского бюро «Геофизика». Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – теплоэнергетика, эколого-энергосбережение, магнитные поля, электродинамика, механика. E-mail: kb-molniya@mail.ru.

Исламов Сергей Романович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, директор научно-образовательного центра «Энергоэффективные угольные технологии». Окончил Красноярский политехнический институт в 1973 г. Область научных интересов – переработка твердых углеводородных топлив. E-mail: termo@24kr.ru.

Казаков Владимир Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1999 г. Область научных интересов – материаловедение, композиционные материалы, пайка. E-mail: vskazakov@yandex.ru.

Кашина Екатерина Владимировна – кандидат экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и организации предприятий энергетического и транспортного комплексов Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский политехнический институт в 1993 г. Область научных интересов – нетрадиционные возобновляемые источники энергии, проблемы повышения эффективности энергетического производства, энергосбережение. E-mail: kat-rudenko@rambler.ru.

Кинеев Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологии и электротехники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1995 г. Область научных интересов – управление проектами, маркетинговые исследования, коммерциализация технологий. E-mail: evgo770@mail.ru.

Колбасина Наталья Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и экспериментальной механики машин политехнического института Сибирского федерального университета. Окончила Санкт-Петербургский государственный университет в 1996 г. Область научных интересов – компьютерное моделирование, конечно-элементные методы расчета. E-mail: natalya-Kolbasina@yandex.ru.

Косолапов Дмитрий Васильевич – инженер СКТБ «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский институт цветных металлов и золота в 2006 г. Область научных интересов – конструкционная прочность. E-mail: dmitrikos@gmail.com.

Крушатина Светлана Константиновна – ассистент кафедры оборудования и технологии сварочного производства политехнического института Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – контактная сварка. E-mail: krushavelka@inbox.ru.

Кудряшов Виктор Спиридонович – доктор технических наук, профессор, заместитель начальника отдела ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Казанский авиационный институт в 1963 г. Область научных интересов – системное проектирование бортовых комплексов электропитания. E-mail: vicud@iss-reshetnev.ru.

Кужель Дмитрий Анатольевич – кандидат медицинских наук, доцент кафедры кардиологии и функциональной диагностики Красноярского государственного медицинского университета имени В. Ф. Войно-Ясенецкого. Окончил Красноярскую государственную медицинскую академию в 1991 г. Область научных интересов – кардиология, функциональная диагностика, нарушения сердечного ритма. E-mail: ofdkkb2@mail.ru.

Кузоро Владимир Ильич – начальник отдела ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Томский политехнический институт в 1977 г. Область научных интересов – конструирование механических систем. E-mail: kvi@iss-reshetnev.ru.

Лобанов Дмитрий Константинович – аспирант кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – испытание электрооборудования космических аппаратов. E-mail: u649@yandex.ru.

Макаров Иван Владимирович – аспирант кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – системы управления летательными аппаратами, беспилотные летательные аппараты. E-mail: intelsysgroup@gmail.com.

Малько Леонид Степанович – доцент кафедры управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1969 г. Область научных интересов – технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей машин. Т. 8(391)291-90-94.

Масленников Олег Андреевич – ведущий инженер-электроник Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский политехнический институт в 1981 г. Область научных интересов – электронная техника. E-mail: oleg415@mail.ru.

Маслов Игорь Юрьевич – студент института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Область научных интересов – прессование металлов. Т. 8(391)213-33-80.

Матвеев Евгений Владимирович – старший преподаватель кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – системы радиоуправления, синтез систем автоматизированного управления, теория нечетких множеств. E-mail: matjon@rambler.ru.

Межова Ирина Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент, заместитель декана экономического факультета института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 1988 г. Область научных интересов – рынок труда, демография, социальная политика. E-mail: mezhova@lan.krasu.ru.

Мельников Павел Игоревич – инженер-конструктор ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – улучшение удельных характеристик солнечных

батарей с помощью концентраторов солнечного света. E-mail: s2401@iss-reshetnev.ru.

Мерзликина Наталья Викторовна – старший преподаватель кафедры стандартизации и управления качеством политехнического института Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный технический университет в 1995 г. Область научных интересов – создание измельчителей материалов. E-mail: mnv190573@mail.ru.

Мизрах Енис Аврумович – кандидат технических наук, профессор кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1967 г. Область научных интересов – энергетические системы космических аппаратов. Т. 8(391)297-87-29.

Михайлов Дмитрий Александрович – инженер ООО «НПЦ магнитной гидродинамики». Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – электротехнология, электроника, компьютерная графика, энергосберегающие технологии. E-mail: 89080244661@mail.ru.

Михалев Игорь Олегович – кандидат технических наук, руководитель рабочей группы научно-образовательного центра «Энергоэффективные угольные технологии». Окончил Красноярский государственный технический университет в 2006 г. Область научных интересов – переработка твердых углеводородных топлив. E-mail: Igor.O.Mikhailov@gmail.com.

Мишуrow Андрей Валериевич – аспирант кафедры радиоэлектронных систем института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – медицинское приборостроение, информационные технологии. E-mail: mav137@yandex.ru.

Морозов Денис Иванович – ассистент кафедры проектирования и экспериментальной механики машин политехнического университета Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – автоматизированное моделирование в CAD-средах, конечно-элементный расчет совместных задач в CAE, многомерная оптимизация. E-mail: danner@hotmail.ru.

Москвичев Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор, директор СКТБ «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский политехнический институт в 1975 г. Область научных интересов – конструкционная прочность, долговечность и надежность конструкций, инновационная деятельность. E-mail: sktb@sktb.krasn.ru.

Новоселов Олег Вадимович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – физика магнитных явлений, теоретическая и математическая физика, математическая статистика, математическая экономика, эконометрика. E-mail: novoselov@sibsau.ru.

Павлов Игорь Вячеславович – старший научный сотрудник Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский политехнический институт в 1992 г. Область научных интересов – технология неорганических материалов. Т. 8(391)243-26-35.

Пантелеев Василий Иванович – доктор технических наук, профессор Сибирского федерального университета. Окончил Томский политехнический институт в 1970 г. Область научных интересов – электротехнические комплексы и системы, электроснабжение промышленных предприятий. E-mail: pvi0808@rambler.ru.

Панько Сергей Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных систем института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1965 г. Область научных интересов – медицинское приборостроение, информационные технологии. E-mail: psp410@mail.ru.

Пасечник Кирилл Арнольдович – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – CAD/CAM-системы. E-mail: pasechnik@sibsau.ru.

Первушин Владимир Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой управления инновационными проектами Академии народного хозяйства при Правительстве Российской Федерации. Окончил Московское высшее техническое училище имени П. Э. Баумана в 1974 г. Область научных интересов – управление проектами, маркетинговые исследования, коммерциализация технологий. E-mail: v-perv@yandex.ru.

Поленга Станислав Владимирович – инженер Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – антенны и устройства СВЧ. E-mail: twinlive@gmail.com.

Потапов Игорь Иванович – начальник сектора Центрального конструкторского бюро «Геофизика». Окончил Вильнюсское военное училище радиоэлектроники ПВО в 1983 г., Харьковскую высшую инженерную академию ПВО в 1990 г. Область научных интересов – энергосбережение, силовая импульсная техника. E-mail: pot_i_i@rambler.ru.

Потылицын Михаил Юрьевич – заведующий лаборатории кафедры тепловых электрических станций политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1978 г. Область научных интересов – энергосбережение. E-mail: mihailpot@yandex.ru.

Похабов Юрий Павлович – начальник инженерно-инновационного центра СКТБ «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1982 г. Область научных интересов – конструкционная прочность, инновационная деятельность. Т. 8913-593-43-89.

Рафальский Александр Станиславович – старший преподаватель кафедры оборудования и технологии сварочного производства политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в

1996 г. Область научных интересов – контактная сварка. E-mail: faiya_82@bk.ru.

Рукосуев Анатолий Петрович – кандидат технических наук, профессор кафедры оборудования и технологии сварочного производства политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1964 г. Область научных интересов – контактная сварка. E-mail: krushavelka@inbox.ru.

Рыбаков Александр Сергеевич – аспирант кафедры технической механики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – технические науки. E-mail: ribakov@sibsau.ru.

Рязанцев Роман Олегович – инженер, аспирант кафедры радиотехники Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – антенны и устройства СВЧ. E-mail: rryazantsev@sfu-kras.ru.

Салатов Александр Викторович – аспирант кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – прессование металлов. Т. 8(391)213-33-80.

Саломатов Юрий Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1973 г. Область научных интересов – антенны и устройства СВЧ. E-mail: ysalamatov@sfu-kras.ru.

Самусенко Светлана Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 1996 г. Область научных интересов – управленческий учет, затраты, финансовые результаты. Т. 8(391)244-67-59.

Семенова Анна Робертовна – кандидат физико-математических наук, доцент, декан заочного экономического факультета института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 1988 г. Область научных интересов – информатизация бизнес-процессов. Т. 8902-923-72-75.

Сигова Елена Михайловна – кандидат технических наук, научный сотрудник СКТБ «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский политехнический институт в 2003 г. Область научных интересов – конструкционная прочность. E-mail: e.sigova@gmail.com.

Симунин Михаил Максимович – кандидат технических наук, доцент кафедры квантовой физики и нанотехнологий Московского института электронной техники. Окончил Московский институт электронной техники в 2007 г. Область научных интересов – химическая технология наноматериалов, физическая химия поверхностей, катализ, углеродные нанотрубки. E-mail: michanel@mail.ru.

Скиба Людмила Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный университет в 1972 г. Область научных интересов – приложения математики в различных сферах, статистика. Т. 8(391)255-37-94.

Спирин Евгений Анатольевич – аспирант кафедры проектирования и экспериментальной механики машин политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2007 г. Область научных интересов – компьютерные технологии, гидродинамика, возобновляемые источники энергии, компьютерные технологии. E-mail: spirin-evgeniy@yandex.ru.

Степанов Сергей Григорьевич – доктор технических наук, технический директор ООО «Энерготехнологические системы». Окончил Красноярский политехнический институт в 1980 г. Область научных интересов – переработка твердых углеводородных топлив. E-mail: stepanov@24kr.ru.

Сумина Екатерина Владимировна – кандидат экономических наук, доцент кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный технологический университет в 2003 г. Область научных интересов – региональная экономика, инновационное развитие экономики, инфраструктура инновационного развития региона, научно-техническое творчество молодежи. E-mail: katrins@yandex.ru.

Суслопаров Михаил Николаевич – аспирант кафедры радиоэлектронных систем Сибирского федерального университета. Область научных интересов – измерительная техника, датчики, приборы. Т. 8(391)291-22-39.

Сутягин Александр Валерьевич – аспирант кафедры управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – технологическое обеспечение качества. Т. 8(391)291-90-94.

Темеров Александр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, руководитель проектов ООО «НПЦ магнитной гидродинамики». Окончил Томский политехнический институт в 1962 г. Область научных интересов – электротехнологии, энергосберегающие технологии, металлургия. E-mail: atemerov@yandex.ru.

Темных Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой материаловедения и технологии конструкционных материалов политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1968 г. Область научных интересов – разработка новых технологий соединения разнородных материалов. E-mail: VTemnvh@sfu-kras.ru.

Темных Евгений Владимирович – аспирант Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – низкотемпературная пайка разнородных материалов. E-mail: temnykh@mail.ru.

Тимофеев Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор, директор ООО «НПЦ магнитной гидродинамики». Окончил Красноярский политехнический институт в 1974 г. Область научных интересов – электротехника, электротехнологии, металлургия, электроника, энергосберегающие технологии. E-mail: npc2@mail.ru.

Титов Валерий Архипович – кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством политехнического университета Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1971 г. Область научных интересов – создание измельчителей материалов. E-mail: titov-var@mail.ru.

Третьяк Надежда Викторовна – аспирант кафедры тепловых электрических станций политехнического института Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский политехнический институт в 2009 г. Область научных интересов – энергосбережение. E-mail: klepa_nadejda@mail.ru.

Трифанов Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-вуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – технология производства летательных аппаратов и технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. Т. 8(391)291-92-14.

Трофимов Сергей Александрович – ведущий инженер-электроник Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский политехнический институт в 1981 г. Область научных интересов – электронная техника. E-mail: baikall@mail.ru.

Федий Константин Сергеевич – доцент кафедры электротехнических комплексов и систем политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – специальные электрические машины, компьютерные технологии, возобновляемые источники энергии. E-mail: fediy_k@mail.ru.

Ферова Ирина Сергеевна – доктор экономических наук, профессор, заместитель директора института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 1987 г. Область научных интересов – промышленная политика, региональная экономика. E-mail: ferovalan.krasu.ru.

Хамнагадаев Игорь Иосифович – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник НИИ медицинских проблем Севера Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. Окончил военно-медицинский факультет Томского медицинского института в 1975 г. Область научных интересов – изучение распространенности и клинического течения сердечно-сосудистых заболеваний среди коренного и пришлого населения Севера и Центральной Сибири. E-mail: khamnaga@yandex.ru.

Хартов Станислав Викторович – кандидат технических наук, научный сотрудник Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук.

Окончил Московский институт электронной техники в 2005 г. Область научных интересов – нанотехнологии, процессы самоорганизации, мембранные процессы. E-mail: stas_fl@list.ru.

Хохлов Дмитрий Владимирович – аспирант Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2004 г. Область научных интересов – индукционный нагрев, параметрическая оптимизация. E-mail: khohlov@mail.ru.

Целюк Денис Игоревич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией техногенеза Красноярского НИИ геологии и минерального сырья. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – геология, экология, геоэкология технологий переработки. Т. 8913-533-63-35.

Целюк Игорь Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией техногенеза Красноярского НИИ геологии и минерального сырья. Окончил Красноярский институт цветных металлов в 1979 г. Область научных интересов – геология, геоэкология, технология переработки отходов. Т. 8962-066-99-88.

Цикалов Виталий Сергеевич – младший научный сотрудник Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 2004 г. Область научных интересов – физика магнитных полей. E-mail: vitaliy_tsikalov@mail.ru.

Чалкин Тимур Александрович – аспирант кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – управление инновационной деятельностью, институциональная инфраструктура управления инновационным процессом, инновационное развитие агропромышленного комплекса России. E-mail: booroo@rambler.ru.

Шабанов Василий Филиппович – доктор физико-математических наук, академик Российской академии наук, председатель президиума Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Омский педагогический институт в 1963 г. Область научных интересов – оптика, молекулярная оптика. Т. 8(391)243-26-35.

Шайдуров Георгий Яковлевич – доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных систем Сибирского федерального университета. Окончил Томский политехнический институт в 1957 г. Область научных интересов – сверхширокополосные электромагнитные системы извлечения и передачи информации. Т. 8(391)291-22-51.

Шангина Екатерина Андреевна – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – проектирование космических аппаратов. E-mail: ekshangina@mail.ru.

Широков Виктор Николаевич – ведущий инженер-конструктор Центрального конструкторского бюро «Геофизика». Окончил Красноярский политехнический инсти-

тут в 1970 г. Область научных интересов – энергосбережение, радиоэлектроника. Т. 8(391)236-19-04.

Широков Павел Олегович – аспирант кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2003 г. Область научных интересов – прессование металлов. Т. 8(391)213-33-80.

Якунин Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2002 г. Область научных интересов – информационные системы поддержки принятия решений, интеграционные автоматизированные системы управления. E-mail: yyakunin@sfu-kras.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

Усс А. В. Перспективы взаимодействия науки и производства	3
Иптышев А. А., Быбина Я. Ю. Роль Краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в развитии научно-образовательного комплекса Красноярского края	4
РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА	9
Алдонин Г. М., Алешечкин А. М., Желудько С. П., Хамнагадаев И. И., Кужель Д. А. Аппаратно-программные средства контроля сердечно-сосудистой системы	10
Александрин А. М., Рязанцев Р. О., Саломатов Ю. П. Исследование квазиоптических структур из искусственного диэлектрика в СВЧ-диапазоне	15
Бежитский С. С., Головенко Е. А., Горемыкин В. А., Кинев Е. С., Хохлов Д. В. Повышение технико-экономических показателей индукционных установок сквозного нагрева цветных металлов с использованием параметрической оптимизации	19
Волков Н. В., Трофимов С. А., Цикалов В. С., Еремин Е. В., Масленников О. А. Высокочувствительный ЭПР-магнитометр для измерений геомагнитного поля Земли: новые решения	25
Гехман А. В., Якунин Ю. Ю., Даничев А. А., Володин А. А. Обработка результатов экспертиз в реестре научно-технических разработок	30
Губанов И. Ю., Беляев С. В., Широков П. О., Салатов А. В., Маслов И. Ю. Особенности моделирования процесса полунепрерывного прессования алюминиевых сплавов	35
Доронин С. В., Косолапов Д. В., Сигова Е. М. Исследование напряженного состояния несущего поворотного элемента рабочего оборудования карьерного экскаватора	39
Доронин С. В., Москвичев В. В., Похабов Ю. П. Обоснование нагрузок для установления расчетных случаев нагружения карьерного экскаватора	43
Журавлев В. М., Якунин Ю. Ю. Системный подход к моделированию организаций	46
Мерзликина Н. В., Морозов Д. И., Колбасина Н. А., Титов В. А. Построение трехмерной параметрической модели торцевой зубчатой передачи для измельчителя материалов	52
Мизрах Е. А., Лобанов Д. К. Энергосберегающее нагрузочное устройство для испытаний систем электропитания постоянного тока	56
Панько С. П., Мишуров А. В. Фильтрация дрейфа изоэлектрической линии при кардиологических исследованиях	61
Симунин М. М., Хартов С. В. Пленки инверсного кварцевого опала как субстрат для каталитического синтеза углеродных нанотрубок	63
Шайдунов Г. Я., Волошин А. М., Ветошкин В. Н., Гондарев В. В., Суслопаров М. Н. Новые направления в разработке автоматизированных систем контроля безопасности гидротехнических сооружений	66
РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА	73
Власов А. Ю., Большаков Д. А., Авакумов Р. В. Исследование сопротивления связи экранирующих материалов	74
Макаров И. В. Имитационное моделирование полета комплекса беспилотного летательного аппарата	78
Матвеев Е. В., Глинчиков В. А. Адаптивная эталонная модель в системе управления беспилотного летательного аппарата	83
Мельников П. И., Кудряшов В. С., Кузоро В. И., Шангина Е. А. Экспериментальный модуль солнечной батареи с концентратором: идея, конструкция, методика летных испытаний	87
Поленга С. В., Саломатов Ю. П. Разработка и исследование отражательной антенной решетки для сетей спутниковой связи	91
Шангина Е. А., Рыбаков А. С., Пасечник К. А., Зайцев П. А., Власов А. Ю. Негерметичная платформа космического аппарата для дистанционного зондирования Земли	95
РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ	93
Бахвалова И. П., Володин А. А., Гехман А. В., Грищенко Д. А. Разработка системы стандартизации и автоматизации технологических процессов клинико-диагностических лабораторий на основе требований ГОСТ Р ИСО 15189–2006	100
Баякин С. Г. Пример двукратной энергоэффективности в системе жилищно-коммунального хозяйства при использовании угля с одновременным производством кокса	105
Баякин С. Г., Залиханов М. Ч. Современные аспекты угольно-водородной энергетики	108

Беляев С. В., Губанов И. Ю., Широков П. О., Салатов А. В., Маслов И. Ю. Повышение эффективности производства строительных профилей из алюминиевых сплавов на основе управления тепловыми условиями процесса прессования	111
Браверман В. Я., Белозерцев В. С., Вейсвер Т. Г. Контроль глубины проплавления по интенсивности рентгеновского излучения при электронно-лучевой сварке	116
Бусыгин С. Л., Рукоусев А. П., Крушатина С. К., Демченко А. И., Рафальский А. С. Применение ресурсосберегающей технологии металлургической переработки меди и медных сплавов для получения электродов контактной сварки	119
Виноградов В. А. Модернизация нефтехимического производства на Химзаводе – филиале ОАО «Красмаш»	122
Гаджиев В. Ф., Михалев И. О., Степанов С. Г. Установка для газификации угля – инновационное решение для энергообеспечения зерносушильных установок в Красноярском крае	124
Дубровский В. А., Исаков Ю. В., Потылицын М. Ю., Потапов И. И., Широков В. Н. Исследование эффективности электрогидравлических эффектов при получении кавитационного водоугольного топлива для котельных установок Красноярского края	127
Дубровский В. А., Третьак Н. В., Потылицын М. Ю., Зубова М. В. Разработка и внедрение энергоэффективной эколого-ресурсосберегающей технологии подготовки и сжигания углей Канско-Ачинского бассейна на энергетических предприятиях для обеспечения конкурентных преимуществ экономики Красноярского края	131
Малько Л. С., Сутягин А. В., Трифанов И. В. Совершенствование конструкции устройства, интегрированного с токарно-винторезным станком, для ротационного точения наружной винтовой поверхности многолезвийным инструментом	134
Малько Л. С., Сутягин А. В., Трифанов И. В. Разработка многолезвийного инструмента для ротационного точения винтовой поверхности деталей машин	139
Михалев И. О., Исламов С. Р. Энерготехнологическая переработка бурого угля Балахтинского месторождения: инновационный подход к энергоэффективности в регионе	145
Павлов И. В., Павлов В. Ф., Шабанов В. Ф. Научно-практические основы получения синтетического волластонита из золошлаковых отходов от сжигания бурых углей КАТЭКа	148
Темеров А. А., Тимофеев В. Н., Михайлов Д. А. Повышение надежности и энергетической эффективности систем электронагрева электрических миксеров для приготовления алюминиевых сплавов	150
Темеров А. А., Тимофеев В. Н., Михайлов Д. А. К вопросу применения систем комбинированного нагрева в электрических миксерах для приготовления алюминиевых сплавов	155
Темных В. И., Казаков В. С., Темных Е. В., Зеер Г. М., Абкарян А. К., Растовцев П. А., Потехина Е. А. Взаимодействие композиционных составляющих галлиевых паст-припоев	159
Целюк И. Н., Целюк Д. И. Технологические особенности и перспективы извлечения золота из отходов хвостохранилища ООО «Соврудник»	163
РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА	167
Боякова Т. А., Головенко Е. А., Пантелеев В. И., Первушин В. А. Модернизация системы образования – один из ключевых факторов развития экономики России	168
Бухарова Е. Б., Витковская Л. К., Межова И. А., Семенова А. Р. Использование индикаторов социального развития при оценке асимметрии экономического и социального развития территорий (на примере муниципальных образований Красноярского края)	174
Головин М. П., Встовский А. Л., Спирин Е. А., Федий К. А., Головина Л. Н. Перспективы использования малой гидроэнергетики в Сибирском регионе	179
Кашина Е. В., Бочарова Е. В. Оценка рыночного потенциала свободнопоточных микроГЭС на территории Красноярского края	184
Кашина Е. В., Бочарова Е. В. Социальная значимость использования микроГЭС на отдаленных территориях Красноярского края	187
Скиба Л. П., Новоселов О. В. Дифференциация студентов по среднему благосостоянию в современных условиях	189
Сумина Е. В., Чалкин Т. А. Роль научно-технического творчества молодежи в построении инновационной инфраструктуры	194
Ферова И. С., Гриб С. Н., Самусенко С. А., Двинский М. Б. Подходы к формированию концепции промышленной политики в контексте инновационной составляющей (на примере Красноярского края)	198
Чалкин Т. А., Белякова Г. Я. Структурная модель институциональной инфраструктуры управления инновационной деятельностью	204
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	210

CONTENTS

Uss A. V. Prospects of interaction of a science and manufactur	3
Iptyshev A. A., Bybina Ya. Yu. Role of ksai “Krasnoyarsk regional fund of supporting scientific and technological activities” in the development of scientific and educational complex of Krasnoyarsk region	4
PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, INFORMATICS	9
Aldonin G. M., Aleshechkin A. M., Zheludko S. P., Hamnagadaev I. I., Kuzhel D. A. Hardware and software control of cardiovascular system	10
Alexandrin A. M., Ryazantsev R. O., Salomatov Yu. P. A study of quasioptical structures from artificial dielectric in microwave band	15
Bezhitsky S. S., Golovenko E. A., Goremykin V. A., Kinev E. S., Khokhlov D. V. Increased technical and economic parameters of induction heating installations through-ferrous metals using parametric optimization	19
Volkov N. V., Trofimov S. A., Tsikalov V. S., Eremin E. V., Maslennikov O. A. High-sensitive esr magnetometer for measuring of the earth geomagnetic field: novel solutions	25
Gekhman A. V., Yakunin Yu. Yu., Danichev A. A., Volodin A. A. Processing of expert reports results in register of scientific and technological developments	30
Gubanov I. Yu., Belyaev S. V., Shirokov P. O., Salatov A. V., Maslov I. Yu. Features of simulation of process of semicontinuous extrusion of aluminum alloys	35
Doronin S. V., Kosolapov D. V., Sigova E. M. Research of stress state of carrying rotary detail of open-mine excavator operational equipment	39
Doronin S. V., Moskvichev V. V., Pokhabov Yu. P. Loads validation for determination of loading cases of open-mine excavator	43
Zhuravlev V. M., Yakunin Yu. Yu. System approach to modeling of organizations	46
Merzlikina N. V., Morozov D. I., Kolbasina N. A., Titov V. A. Development of a three-dimensional parametric model of end gear for row material crusher	52
Mizrakh E. A., Lobanov D. K. Energy-saving DC load for DC power supply systems testing	56
Panko S. P., Mishurov A. V. Isoelectric line drift filtration in process of cardiological researches	61
Simunin M. M., Khartov S. V. Film of inverse quartz opal used as substrate for catalytic synthesis of carbon nanotubes	63
Shaidurov G. Ya., Vetoshkin V. N., Gondarev V. V., Susloparov M. N. New directions in research of hydraulic structures safety control	66
PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING	73
Vlasov A. Yu., Bolshakov D. A., Avakumov R. V. Study of shielding materials coupling resistance	74
Makarov I. V. Unmanned aerial vehicle flight simulation	78
Matveev E. V., Glinchikov V. A. Adaptive reference model in control system of unmanned aerial vehicle	83
Melnikov P. I., Kudryashov V. S., Kuzoro V. I., Shangina E. A. Solar batteries experimental unit with concentrator: idea, construction, methodology of flight tests	87
Polenga S. V., Salomatov Y. P. Design and research of reflector antenna array for satellite communication networks	91
Shangina E. A., Ribakov A. C., Pasechnik K. A., Zaytsev P. A., Vlasov A. Yu. Untightened platform of space vehicle for remote sounding of the earth	95
PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS	99
Bakhvalova I. P., Volodin A. A., Gekhman A. V., Grischenko D. A. Development of system of standardization and automatization of technological processes system in clinic-diagnostics laboratories, based on State Standart R ISO 15189–2006	100
Bayakin S. G. Example of double power efficiency in housing and communal services system, at use of coal with simultaneous manufacture of coke	105
Bayakin S. G., Zalikhanov M. C. Modern aspects of coal-hydrogen power	108
Belyaev S. V., Gubanov I. Yu., Shirokov P. O., Salatov A. V., Maslov I. Yu. The enhancement of productive efficiency of the press-articles from aluminum alloys on the operation base of thermal conditions of the extrusion	111
Braverman V. Ya., Belozertsev V. S., Veisver T. G. Control of melting depth by x-ray radiation during electron-beam welding	116

Busigin S. L., Rukosuev A. P., Krushatina S. K., Demchenko A. I., Rafalsky A. S. Application of resource-saving technology of copper and copper alloys metallurgical recycling for contact welding electrodes production	119
Vinogradov V. A. Modernisation of petrochemical manufacture on the Chemical plant – Open Society “Kras mash” branch	122
Gadjiev V. F., Mikhalev I. O., Stepanov S. G. Coal gasification unit – innovative solution for energy supply of grain dryers in Krasnoyarsk region	124
Dubrovsky V. A., Isakov Yu. V., Potilicyn M. Yu., Potapov I. I., Shirokov V. N. Research of efficiency of electrohydraulic effects at reception cavitation water-coal of fuel for boiler installations of Krasnoyarsk region	127
Dubrovsky V. A., Tretyak N. V., Potilicyn M. Yu., Zubova M. V. Development and adoption of energy-saving ecology-and-resource conserving technology for preoperation and combusting of coals of Kansk–Achinsk coal basin at power producing enterprises in order to provide for competitive advantages of economy of Krasnoyarsk region	131
Malko L. S., Sutyagin A. V., Trifanov I. V. Perfection of the design of the device integrated with the tokarno-screw cutter, for rotational turn external screw surface multiblades tool	134
Malko L. S., Sutyagin A. V., Trifanov I. V. Working out многолезвийного of the tool for rotational turn the screw surface of details of cars	139
Mikhalev I. O., Islamov S. R. Energy-technology conversion of brown coal of Balakhta coal deposit: innovative approach to energy efficiency in the region	145
Pavlov I. V., Pavlov V. F., Shabanov V. F. Academic and research principles of obtaining of synthetical wollastonite produced of KATEK brown coals refuse burnout	148
Temerov A. A., Timofeev V. N., Mikhaylov D. A. Reliability growth and energetic efficiency of electric heating systems of electric holding furnaces for aluminium alloys	150
Temerov A. A., Timofeev V. N., Mikhaylov D. A. Application of the combined heating systems in electric holding furnaces for preparation of aluminium alloys	155
Temnykh V. I., Kazakov V. S., Temnykh E. V., Zeer G. M., Abkaryan A. K., Rastovtsev P. A., Potekhina E. A. Interaction of composite components of gallium pastes-solders	159
Tselyuk I. N., Tselyuk D. I. Technological features and the prospects for extraction of gold from tailings waste «Sovrudnik»	163
PART 4. ECONOMICS	167
Boyakova T. A., Golovenko E. A., Panteleev V. I., Pervyshin V. A. Modernization of educational system is one of the key factors for development of russian economy	168
Buharova E. B., Vitkovskaya L. K., Mezhoval I. A., Semenova A. R. Use of social development indicators for evaluation of asymmetry in social and economic development of territories (on the example of municipal areas of Krasnoyarsk region)	174
Golovin M. P., Vstovski A. L., Spirin E. A., Fedy K. A., Golovina L. N. Prospects for use of small hydropower in the Siberian region	179
Kachina E. V., Botcharova E. V. Estimation of free-flowing micro hydroelectric power stations in Krasnoyarsk region	184
Kachina E. V., Botcharova E. V. Social importance of use of micro hydroelectric power stations at the remote territories of Krasnoyarsk region	187
Skiba L. P., Novoselov O. V. Differentiation of students on revenue positions in modern conditions	189
Sumina E. V., Chalkin T. A. Role of youth scientific and technical work in the innovative infrastructure construction	194
Feroval I. S., Grib S. N., Samusenko S. A., Dvinskiy M. B. Approaches to formation of industrial policy concept in the context of innovation component (on the example of Krasnoyarsk region)	198
Chalkin T. A., Belyakova G. Y. Structural model of innovative activities management institutional infrastructure	204
THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	210

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СИБГАУ»

Общие требования. Тексты статей представляются в редакцию журнала в электронном и печатном виде на русском и английском языках. Русскоязычная версия должна сопровождаться английским переводом фамилии автора (авторов); названия статьи; аннотации; ключевых слов (см. пример оформления статьи).

Файл со статьей представляется на любом электронном носителе.

На последней странице ставится подпись автора (авторов) статьи. Количество авторов одной статьи – не более пяти. Автор имеет право публиковаться в выпуске один раз, второй раз – в соавторстве.

Индекс УДК предшествует названию статьи, соответствует заявленной теме и проставляется в верхнем левом углу листа.

Оригинал должен быть чистым, не помятым, без правок, вписанных от руки. Страницы нумеруются карандашом на обороте.

Электронная копия. Статья набирается в программе Microsoft Word.

Содержание. В статье необходимо сформулировать проблемы, отразить объект исследования, достигнутый уровень процесса исследования, новизну результатов, область их применения.

Статья должна заканчиваться выводом. Текст вывода набирается отдельным абзацем (абзацами), в котором акцентируется новизна результатов, эффективность их использования и др.

Объем статьи: 7–8 страниц (включая рисунки, таблицы и библиографические ссылки).

Параметры страницы. Формат А4 (210×297 мм). Поля: правое и левое – 2 см, верхнее и нижнее – 2,5 см.

Текст. Шрифт – Times New Roman, размер 12 пт.

По центру помещаются инициалы и фамилия автора (авторов).

Не допускается (!) в тексте статьи набирать слова прописными (заглавными) буквами, жирным шрифтом или курсивом, а также размещать все указанные элементы в рамках и имитировать оформление набора, выполняемого в журнале.

Ниже по центру шрифтом 12 пт печатается название статьи и через строку курсивом – аннотация, ключевые слова (не более 6).

Основной текст статьи размещается через пробел от аннотации. Межстрочный интервал – одинарный, межбуквенный и междусловный интервал – нормальный, перенос слов не допускается. Заголовки глав должны быть центрированы.

Абзацный отступ равен 0,5 см.

Ссылки на литературные или иные источники оформляются числами, заключенными в квадратные скобки, например [1]. Ссылки должны быть последовательно пронумерованы.

При наличии гранта ссылка на грант помещается внизу полосы под строками основного текста (подстрочное примечание).

Примечания. Смысловые пояснения основного текста или дополнения к нему оформляются в виде внутритекстовых примечаний среди строк основного текста специальной рубрикой, выделенной светлым курсивом: *Примечание.* (одно примечание), *Примечания:* (несколько примечаний). Отделяются от текста *точкой* (если стоят в единственном числе в подбор к тексту примечания). Примечания должны быть последовательно пронумерованы.

Формулы. Простые внутристрочные и однострочные формулы должны быть набраны без использования специальных редакторов – символами (шрифт Symbol). Специальные сложные символы, а также многострочные формулы, которые не могут быть набраны обычным образом, должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Набор математических формул в пределах всего текста должен быть единообразен:

- русские и греческие символы – прямым шрифтом;
- латинские – курсивом;
- размер обычного символа – 12 пт;
- крупный индекс – 10 пт;
- мелкий индекс – 9 пт;
- крупный символ – 11 пт;
- мелкий символ – 10 пт.

Формулы, набранные отдельными строками, располагают по центру.

Не допускается (!) набор в основном тексте статьи простых латинских, греческих или специальных символов в редакторе формул.

Таблицы должны быть последовательно пронумерованы. Слово «таблица» набирается светлым курсивом с выравниванием вправо, шрифтом 11 пт, например *Таблица 1*, ниже – заглавие таблицы (набирается жирным шрифтом по центру). Если таблица имеет большой объем, то она может быть помещена на отдельной странице, а в случае, когда она имеет значительную ширину, – на странице с альбомной ориентацией.

Иллюстрации. Оформляются отдельным файлом с расширением tiff. Последовательно пронумеровываются обычным шрифтом без кавычек с выравниванием по центру, например, Рис. 1. Могут содержать подрисовочную подпись, шрифтом 11 пт. Иллюстрации могут быть сканированы с оригинала (в градациях серого с разрешением 150 dpi) или выполнены средствами компьютерной графики. Не принимаются цветные иллюстрации и иллюстрации с разрешением 300 dpi и более.

Библиографические ссылки составляются в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию и помещаются после основного текста (ГОСТ 7.0.5–2008).

К печатному варианту статьи необходимо приложить:

1) экспертное заключение о возможности открытой публикации;

2) внешнюю рецензию (рецензент, желательно, не ниже ученой степени доктора наук);

3) сведения об авторе:

– фамилия, имя, отчество (полностью);

– ученая степень, звание, должность;

– вуз, год его окончания;

– область научных интересов;

– место работы, номер телефона;

– адрес для переписки (для иногородних);

– e-mail.

Внимание! Материалы статьи авторы сдают лично секретарю журнала или высылают почтой с указанием обратного адреса. По электронной почте статьи не принимаются.

Статьи рецензируются. Отклоненные материалы не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 621.396.96.001(07)

И. А. Иванов

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ДВУХКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

Рассмотрена децентрализованная обработка информации в двухканальных измерительных системах при косвенном измерении для различных алгоритмов фильтрации оценки вектора состояния в измерительных пунктах и пункте обработки информации. Проведен сравнительный анализ результатов имитационного моделирования синтезированных алгоритмов.

Ключевые слова (не более 6):

Задача обеспечения высокой точности оценивания координат и параметров траектории движения объекта может быть решена за счет применения многоканальных измерительных систем с оптимальной централизованной обработкой.

(Продолжение текста публикуемого материала).

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 00-01-00912).

Библиографические ссылки

1. Гришин Б. П., Казаринов Ю. М. Динамические системы, устойчивые к отказам. М. : Радио и связь, 1985.
2. Медведев А. В. О моделировании организационных процессов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. Вып. 1. Красноярск, 2000. С. 173–191.

I. A. Ivanov

DECENTRALIZED ALGORITHMS OF INFORMATION PROCESSING IN TWO-CHANNEL MEASURE SYSTEMS

It is covered a decentralized algorithms of information processing in two-channel measure systems in case of an indirect measuring for different filtration algorithms of a condition vector estimation at the reception measure station and the station of information processing. Comparative analysis is carried out with a help of imitation modeling of synthesized algorithms.

Keywords:

