

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

*Посвящается 85-летию
Сибирского государственного
индустриального университета*

Научные школы СибГИУ

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, СОЗДАНИЕ
ПРИКЛАДНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ И НОВЫХ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И АГРЕГАТОВ
НА ПРИНЦИПАХ САМООРГАНИЗАЦИИ**

Новокузнецк
2015

УДК 378 (09)
ББК 74.58.03(2)
М340

М340 Математическое моделирование, создание прикладных инструментальных систем и новых металлургических процессов и агрегатов на принципах самоорганизации : научно-справочное издание / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 101 с.

ISBN 978-5-7806-0415-0

Издание посвящено истории развития научной школы ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» «Математическое моделирование, создание прикладных инструментальных систем и новых металлургических процессов и агрегатов на принципах самоорганизации», созданной д.т.н., профессором, заслуженным деятелем наук РФ, академиком МАН ВШ В.П. Цымбалом. Представлены сведения об основных результатах научных исследований, достижениях, этапах развития научной школы, учениках.

Рекомендуется для широкого круга читателей, интересующихся историей и направлениями научных исследований ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет».

ISBN 978-5-7806-0415-0

©Сибирский государственный
индустриальный университет, 2015
© Цымбал В.П., Мочалов С.П., 2015

1 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНОГО КОЛЛЕКТИВА

1. Истоки и предпосылки

11 сентября 1980 г. приказом министра о высшем образовании в Российской Федерации И.Ф. Образцова было разрешено основать в СМИ лабораторию обучающих систем и тренажеров металлургических процессов. Предпосылки для организации этой лаборатории создались в связи с тем, что образовавшийся в рамках кафедры автоматизации металлургических процессов небольшой коллектив молодых ученых (рисунок 1.1) в составе В.П. Цымбала, В.Н. Буинцева, А.Ф. Сакуна, А.Г. Падалко, Н.А. Калиногорского, а несколько позже С.П. Мочалова явился родоначальником создания тренажерных систем в металлургии.



Слева направо: А.Ф. Сакун, А.Г. Падалко, В.П. Цымбал, В.Н. Буинцев

Еще в 1977 – 78 годах были получены приоритеты на два первых изобретения: «Устройство для моделирования пламени» и «Тренажер оператора энергетического объекта». В последующие годы было получено более двадцати авторских свидетельств в этой области.

За короткий срок этим коллективом при поддержке руководства института (ректора Н. В. Толстогузова и проректора Е. И. Корочкина) была создана материальная база, оснащенная современными средствами вычислительной техники, в том числе дисплейными терминалами в комплексе с ЭВМ индивидуального пользования, АВМ третьего

поколения, устройствами подготовки данных для ЕС 1022, тренажерными системами и т.д.

16 декабря 1980 г. ознаменовалось созданием новой кафедры «Математическое обеспечение и применение ЭВМ в металлургии».

Основной состав преподавателей будущей кафедры начал складываться еще в рамках кафедры автоматизации металлургических процессов. Основатель кафедры В.П. Цымбал (рисунок 1.2) одним из первых в стране начал работать в области математического моделирования металлургических процессов, в 1960 году он поступил в аспирантуру, в 1963 году защитил кандидатскую диссертацию, а в 1973 году – докторскую диссертацию на тему «Исследование и управление сталеплавильным процессом с применением математических моделей на примерах обычной и интенсифицированной мартеновской плавки». К нему присоединились единомышленники: В.Н. Буинцев, А.Ф. Сакун, А.Г. Падалко, Н.А. Калиногорский, немного позже – аспирант С.П. Мочалов и другие сотрудники.



Основатель кафедры и научной школы В.П. Цымбал

Этому коллективу принадлежат одни из первых моделей мартеновской, а затем конверторной плавки. Но первые модели не были столь совершенны, чтобы управлять процессами.

Однако стало ясно, эти модели могут быть использованы в тренажерных или обучающих системах, что позволит выйти на повышение квалификации операторов, т.е. улучшить управление процессом

через человека. Именно проблема разработки тренажеров и помогла выйти на создание кафедры.

В рамках этого подхода в последующем было создано более 15-ти тренажеров и несколько компьютерных обучающих систем.

2. Этапы развития кафедры

В 1980 – 84 гг. коллектив кафедры и лаборатории обучающих систем был следующий: доктор технических наук, профессор В.П. Цымбал; кандидаты технических наук, доценты В.Н. Буинцев, А.Ф. Сакур., А.Г. Падалко, С.П. Мочалов, Н.А. Калиногорский.

Затем состав кафедры расширился, благодаря появлению аспирантов С.А. Шипилова и Г.Б. Мельника, старших инженеров С.В. Клемашева и Е.И. Ливерца (который был первым заведующим лабораторией, впоследствии его сменил А.В. Мирошниченко), старшего лаборанта Н.Н. Нехорошевой, учебного мастера Н.В. Шутенкова, старшего лаборанта Л.Н. Мотовиловой, лаборантов А.Л. Бебениной и Т.Г. Логиновой.

В 1984 году на кафедру пришел работать инженер С.Н. Калашников – выпускник механико-математического факультета Новосибирского государственного университета, который защитил на кафедре сначала кандидатскую, а затем докторскую диссертации.

Начиная с 1986 г., профессорско-преподавательский коллектив начал расширяться за счет своих же выпускников: И.А. Рыбенко, С.Ю. Красноперов, В.И. Кожемяченко, Л.А. Ермакова – выпускники новой специальности, которые защитили кандидатские диссертации и стали преподавателями на своей кафедре. Выпускники кафедры внесли большой вклад в программное обеспечение вычислительного центра кафедры, а также в работу организованного позже по инициативе профессора С.П. Мочалова управления информатизации университета. С 1990 года зав. лабораторией является Л.Г. Смирнова.

В настоящее время на кафедре трудится 3 профессора, доктора технических наук: В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников; 6 доцентов, кандидатов технических наук: В.Н. Буинцев, А.Г. Падалко, И.А. Рыбенко, В.И. Кожемяченко, С.Ю. Красноперов, Л.А. Ермакова; старшие преподаватели М.Б. Малинов, В.Ю. Климов, А.Е. Шендриков, И.А. Куксов; аспиранты М.М. Милованов и П.А. Сеченов, а также представитель производства – начальник бюро постановки задач регионального центра разработки «Сибирь» ООО «ЕвразТехника», к.т.н., доцент Е.Б. Турчанинов.

Выпускник аспирантуры А.М. Огнев (до этого окончивший магистратуру и в декабре 2006 года досрочно защитивший кандидатскую диссертацию) в настоящее время успешно работает главным конструктором по АСУ в дочерней фирме при заводе «Сибэлектро-терм» и продолжает активно сотрудничать в рамках нашего творческого коллектива.

Успешно вписался в творческий коллектив также выпускник аспирантуры А.А. Оленников, защитивший кандидатскую диссертацию в декабре 2009 года.



Верхний ряд, слева направо: М.Б. Малинов, С.Ю. Красноперов, С.П. Мочалов, А.Г. Падалко, В.П. Цымбал, В.Н. Буинцев, В.Ю. Климов. Нижний ряд, слева направо: С.Н. Калашиников, В.И. Кожемяченко, Л.Н. Мотовилова, И.А. Рыбенко, Л.А. Ермакова, Л.Г. Смирнова, М.И. Жданов

Состав коллектива в 2009 году

3. Этапы развития научных направлений школы

Сложившимся еще в рамках кафедры автоматизации металлургического производства коллективом будущих сотрудников новой кафедры (В.Н. Буинцев, А.Ф. Сакун, А.Г. Падалко) и специалистов Кузметкомбината под руководством В.П. Цымбала в 1965 – 1975 гг. на большинстве мартеновских печей Кузнецкого и Карагандинского металлургических комбинатов были установлены аналоговые вычислительные устройства, позволяющие снизить расход руды в завалку на 10 – 15 %, расход условного топлива на 10 – 15 кг/т стали и экономить в год до 30 тыс. тонн мазута только по данным КМК. Эти уст-

ройства, а также тренажер «Сталевар» проработали в мартеновском производстве много лет. Реализация разработанных под руководством С.П. Мочалова в 1980 – 1981 годах математических моделей и оптимальных режимов продувки в конверторном производстве Запсибметкомбината (при участии Р.С. Айзатулова, К.М. Шакирова и сотрудников кафедры) позволила повысить выход жидкой стали почти на 1 %, что дало очень большую экономию средств (около 1 млн. руб. в ценах тех лет).

На основе созданных на кафедре математических моделей и проведенных психолого-педагогических исследований в 1975 – 1985 гг. впервые в металлургии были разработаны тренажеры «Сталевар», «Конвертерщик» и др., которые внедрены во многих учебных заведениях и на заводах России, Украины и Казахстана, а с 1986 года было взято направление на разработку обучающих систем для персональных ЭВМ, а затем – на разработку электронных учебников.

В 1985 – 1990 годах по инициативе В.П. Цымбала на кафедре было организовано новое научное направление: «Математическое моделирование, создание прикладных инструментальных систем и новых металлургических процессов и агрегатов на основе принципов самоорганизации». На основе идей теории самоорганизации был создан новый металлургический процесс и агрегат (рисунок 1.1).

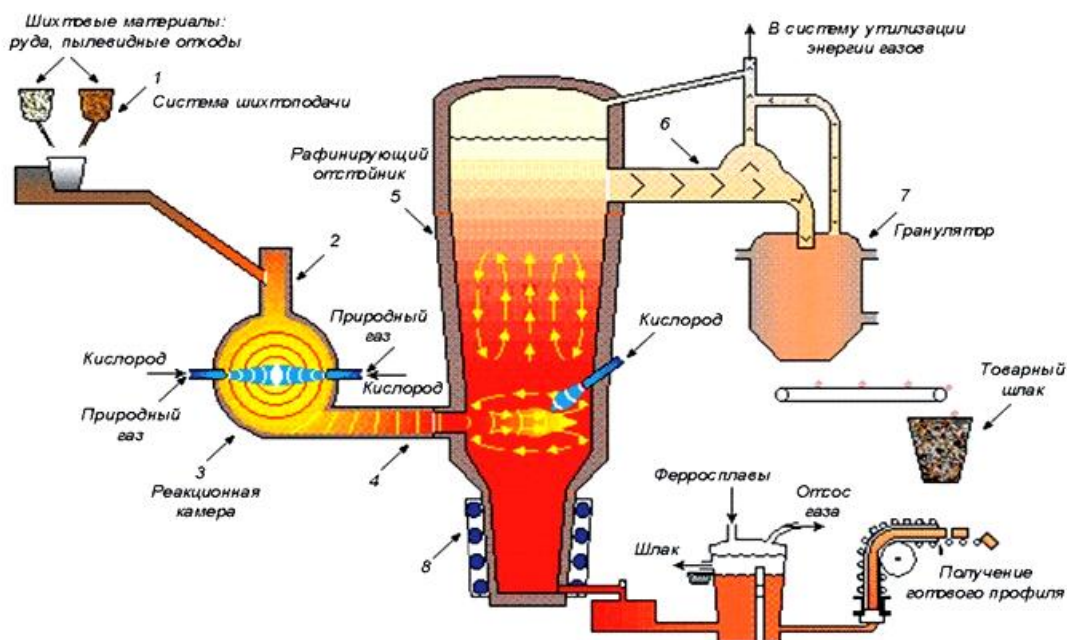


Рисунок 1.1 – Технологическая схема агрегата типа СЭР

В 1988 году он был запатентован в СССР, а в 1993 – 1998 гг. – в девяти зарубежных странах. Преимуществами нового металлургического

ского процесса и агрегата являются малый удельный объем (в 10 – 15 раз меньше) и капитальные затраты (в 2 – 3 раза), малая энергоемкость (в полтора раза меньше традиционных), экологичность.

Важным направлением деятельности кафедры является разработка информационных систем различного назначения. В качестве примера можно отметить «Корпоративную систему информационного сопровождения учебного процесса» (разработана совместно с другими подразделениями университета) и «Корпоративную систему компьютерного тестирования знаний», успешно внедренные в университете.

4. Научно-методическая работа и выпуск специалистов.

21 января 1981 г. письмом зам. министра высшего образования РФ Ф.М. Седыкина была разрешена подготовка в порядке эксперимента одной группы инженеров-металлургов со специализацией «Математическое обеспечение и применение ЭВМ в металлургии».

Специалисты этой профессии должны не только знать металлургические дисциплины, но и, что самое важное, уметь воплотить свои идеи и математические модели на компьютере, применить возможности ЭВМ в металлургии.

Всего с 1986. по 1999 гг. на кафедре подготовлено более 350 выпускников по специальности «Математическое обеспечение и применение ЭВМ в металлургии».

Педагогический эксперимент

На кафедре информационных технологий в металлургии, начиная с момента ее образования в декабре 1980 года, идет интересный, можно сказать, уникальный педагогический эксперимент, результатом которого явилась разработка своеобразной технологии вузовского образования под названием «Концептуально-деятельностный и самоорганизующий подходы к обучению».

В 1996 г. кафедра «Математическое обеспечение и применение ЭВМ в металлургии» была переименована в кафедру «Информационные технологии в металлургии».

В 1997 г. были выпущены первые бакалавры, а в 1999 году – магистры техники и технологии по магистерской программе «Информатика и предпринимательство в металлургии».

Выпускник магистратуры 2003 года А. М. Огнев в декабре 2006 года защитил кандидатскую диссертацию, а выпускник бакалавратуры 2001 года Александр Волынкин закончил магистратуру в Бидхам-

тонском университете США и в апреле 2007 года там же защитил диссертацию на ученое звание доктор философии по специальности «Электротехника».

В декабре 1998 года в СибГИУ по инициативе профессора С.П. Мочалова была лицензирована новая специальность «Информационные системы и технологии», а в 1999 г. был произведен первый набор по этой специальности.

Опыт предыдущих разработок кафедры сказался на становлении новой специальности «Информационные системы и технологии», открытой на кафедре и заменившей специальность «Математическое обеспечение и применение ЭВМ в металлургии».

В 2004 году состоялся первый выпуск инженеров этой специальности. Все они успешно трудоустроены.

Для обеспечения подготовки инженеров по этой специальности необходимо было поставить для преподавания и методически обеспечить более 20 достаточно сложных новых дисциплин. Эту работу возглавил и успешно осуществил профессор С.П. Мочалов, который был назначен руководителем этой образовательной программы.

Начиная с 2006 года, кафедра ведет подготовку инженеров по специальности «**Информационные системы и технологии**» со специализациями «**Прикладное математическое и программное обеспечение**» и «**Информационные системы в металлургии**» вместо специализации «Информационные технологии и предпринимательство в металлургии».

Кафедра готовит специалистов широкого профиля, имеющих фундаментальную подготовку как в области металлургии (теория тепломассообмена, физическая химия, основы металлургических технологий), так и в области информационных технологий (методы математического моделирования, исследования и оптимизации, технические и программные средства информационных технологий и т.п.).

В 2009 году произведен первый набор студентов на новую специальность «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», предусматривающую углубленное изучение языков и технологий программирования, методов разработки баз данных и управления данными, методов администрирования информационных систем и защиты информации. Лицензирована подготовка бакалавров по направлению «Информационные системы», получено положительное решение УМО на лицензирование подго-

товки магистров этого же направления по магистерской программе «Автоматизированные обучающие системы».

Потребители оценили способность выпускников нашей кафедры доводить свои разработки до программных продуктов.

Наиболее способные студенты имеют возможность получить звание магистра, а также поступить в аспирантуру. С 1986 по 2009 гг. кафедрой выпущено около 662 инженеров, 27 бакалавров и 18 магистров.

На кафедре имеется аспирантура по двум научным специальностям:

- 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ;
- 05.13.06 Автоматизация технологических процессов и производств.

Основу технической базы кафедры составляет локальная вычислительная сеть с выходом в Internet, включающая более 50 ЭВМ, три компьютерных класса, две лаборатории.

В 2010 году открыт авторизованный учебный центр D-Link для обучения и сертификации специалистов по сетевым технологиям.

В 2013 на основе установки низкотемпературного моделирования создана система автоматизированного эксперимента с микропроцессорным управлением и SCADA-системой.

Научное общение и сотрудничество

Научный коллектив сотрудничает с рядом научно-исследовательских институтов, в том числе: Институт теоретической и прикладной механики (г. Новосибирск), Институт теплофизики СО РАН (г. Новосибирск), Машиностроительный завод «Сибэлектро-терм», Новокраматорский машиностроительный завод, Институт комплексных проблем гигиены и профзаболеваний (г. Новокузнецк) и др.

В рамках празднования 20-летия кафедры в апреле 2001 года проведена всероссийская научно-практическая конференция «Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии». Выпущен сборник трудов объемом 500 страниц, который, до сих пор хранится на web-сервере, что позволяет эффективно использовать эти материалы в студенческой НИР, курсовом и дипломном проектировании.

В рамках празднования 25-летия кафедры в марте 2006 года была проведена вторая всероссийская научно-практическая конферен-

ция «Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии». Выпущен сборник трудов объемом около 400 страниц, который также хранится на web-сервере.

Аналогичная конференция была проведена и в 2011 году

5. Смотрим в будущее

Важным направлением исследований коллектива по учебно-методической работе является создание электронных учебников и освоение новых методов преподавания с использованием интерактивных технологий, особенно с учетом перехода на стандарты третьего поколения. Разработаны оптимизированные по затратам новые учебные планы для двух выпускаемых на кафедре специальностей, а также для подготовки магистров. Большая заслуга здесь принадлежит доцентам кандидатам технических наук Рыбенко И.А., Кожеиченко В.И., Красноперову С.Ю. Получена лицензия на подготовку магистров по направлению «Информационные системы». Подготовлена еще одна магистерская программа. Уже выпущены первые магистры по направлению «Информационные системы». Кафедра и здесь продолжает работать на опережение.

Главным направлением исследований научного коллектива в настоящее время является разработка математического и программного обеспечения и подготовка для внедрения в производство разработанного сотрудниками кафедры нового металлургического процесса и агрегата типа «Самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор» (СЭР). Разработана и отправлена на конкурс программа государственно-частного предпринимательства и получено согласие группы компаний «Метрополь» на финансирование внебюджетной части программы. В случае успешной реализации этой программы будет создан, в сотрудничестве с машиностроительным заводом «Сибэлектротерм», пилотный образец нового металлургического агрегата, который предполагается использовать прежде всего для освоения самого большого в мире Бакчарского железорудного месторождения, где традиционные технологии из-за большой обводненности и пылевидного характера руды мало приемлемы.

2 КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЧЛЕНАХ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

1. Калашников Сергей Николаевич, доктор технических наук, доцент, должность профессор. Телефон: 70-15-59, 70-15-63, 909-512-8352. Эл. почта: kch@itm.sibsiu.ru, grafstvo@mail.ru.

Родился 17 апреля 1959 года в г. Белово Кемеровской области. В 1981 году закончил механико-математический факультет Новосибирского государственного университета. С 1981 по 1983 год проходил воинскую службу в армии в звании лейтенанта. В СибГИУ работает с 1981 года.

Кандидатская диссертация – «Численно-аналитические методики определения управляющих воздействий применительно к металлургическим объектам с самоорганизацией», 1997 г. Докторская диссертация – «Математическое моделирование тепло- и массообменных процессов в металлургических агрегатах на основе объектно-ориентированной технологии», 2002 г.

Научные интересы: математическое моделирование тепло- и массообменных процессов как объектов с распределёнными параметрами, численно-аналитические методы моделирования, объектно-ориентированное проектирование комплексов программ для задач моделирования, теория алгебраических систем и математическая логика, разработка инструментальных систем для моделирования физико-химических процессов, математическое моделирование явлений самоорганизации. Тематика научных публикаций: численно-аналитическое моделирование тепло- и массообменных процессов в металлургических агрегатах; построение комплекса программных приложений EXCEL-VBA при решении задач математического моделирования, исследование процессов в нелинейных динамических системах. Совместно с С.Ю. Красноперовым создана на основе развития Excel-приложений очень удобная для пользователей инструментальная система моделирования краевых задач тепло- и массообмена по физической постановке близкая к аналоговой. Участвовал в разработке системы гарнисажного охлаждения для нового металлургического процесса и агрегата типа самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор.

Количество публикаций – 137.

Награды, достижения: благодарственное письмо губернатора Кемеровской области за значительный вклад в развитие науки в Кузбассе, многолетнюю научную деятельность, подготовку высококвалифицированных специалистов и в связи с Днем российской науки; почетные грамоты главы города Новокузнецка и ректора СибГИУ; нагрудный знак «Почетный работник высшего профессионального образования».

2. Рыбенко Инна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент.

С 01.01.2013 года исполняет обязанности заведующего кафедрой ИТМ.

Телефон: 70-15-63. Эл.почта: rybenkoi@rambler.ru.

Родилась в 1964 году, является выпускницей кафедры ИТМ, в 1986 году с отличием окончила Сибирский металлургический институт. Стаж научно-педагогической работы в вузе составляет 27 лет (с 29.12.1986 г – ассистент, с 27.09.1993 г. – старший преподаватель, с 01.03.2001 г. – доцент). В течение 9 лет была ученым секретарем кафедры «Информационные технологии в металлургии».

Кандидатская диссертация – «Разработка методики и системы расчета вариантов технологий непрерывного получения металла в агрегатах струйно-эмульсионного типа», 2000 г.

Научные интересы: принимала активное участие в создании нового металлургического процесса и агрегата типа СЭР. Одной из первых на кафедре освоила методику расчетов для широкого круга задач на основе программного комплекса «Астра» (более поздняя версия имеет название «Терра»), разработанного в МВТУ им. Баумана. С 1991 года, И.А. Рыбенко были просчитаны сотни вариантов термодинамических расчетов различных процессов, в том числе нового металлургического процесса и агрегата типа СЭР. Кроме того, ею разработаны методика и система расчета и оптимизации статических и стационарных режимов технологических процессов, которые использовались при решении различных инженерных задач: в задачах моделирования и исследования процессов в элементарных термодинамических системах, задачах определения оптимальных режимов различных металлургических процессов: кислородно-конвертерного, электросталеплавильного, процесса производства анодной меди, процесса получения марганца в плазменной печи и др.

Система расчета и оптимизации использовалась также для решения задач моделирования и оптимизации стационарных режимов сжигания суспензионного угольного топлива в вихревой адиабатической топке. Результаты расчетов использовались при моделировании стадий и подпроцессов работы автоматизированных энергогенерирующих комплексов; расчете, исследовании и оптимизации режимов АЭГК, что позволило разработать новые технологические решения для действующих производств, а также создать теоретические основы и провести предварительные расчеты режимов при разработке перспективных автоматизированных энергогенерирующих и энерго-технологических комплексов различной мощности.

Разработанные методика и система использовались для решения модельных и технологических задач по определению условий полу-

чения металла заданного состава и расчета возможных и оптимальных стационарных режимов в агрегатах струйно-эмульсионного типа для различных вариантов технологий: получения металла из чугуна с добавлением твердых окислителей, прямого получения металла из руд и пылевидных отходов; получения сплавов и прямого легирования металла.

За время работы в университете И.А. Рыбенко принимала участие в выполнении 16 госбюджетных НИР. С 2010 года участвовала в госбюджетной НИР «Разработка научно-технических основ для создания технологии подготовки и сжигания суспензионного угольного топлива, приготовленного на основе отходов углеобогащения, и пилотного образца автоматизированного энергогенерирующего комплекса». По результатам НИР опубликовано 60 научных работ и получен 1 патент.

И.А. Рыбенко неоднократно награждалась грамотами областного и университетского уровней. В 2005 году награждена медалью «За достойное воспитание детей», в 2012 – медалями «За веру и добро» и «70 лет Кемеровской области». Имеет звание «Почетный работник высшего профессионального образования».

3. Кожемяченко Вадим Иванович, доцент, кандидат технических наук.

Телефон: 70-15-63. Эл. почта: vadim@itm.sibsiu.ru

Родился 4 июня 1968 года. В 1985 году поступил в Сибирский металлургический институт на специальность «Математическое обеспечение и применение ЭВМ в металлургии». В 1986 – 1988 годах проходил службу в рядах Вооруженных сил СССР, после чего продолжил обучение по той же специальности. В 1992 году окончил обучение с красным дипломом. В 1993 году зачислен в очную аспирантуру, которую окончил в 1998 году. Еще будучи студентом, с 1992 года, начал работать на кафедре, где работает и по настоящее время (работал в должностях: инженер, ассистент, старший преподаватель, доцент).

Читает лекционные курсы «Информатика», «Программирование на языке высокого уровня», «Объектно-ориентированное программирование», «Операционные системы» и др.

В 1999 году защитил диссертацию кандидата технических наук. В диссертации В.И. Кожемяченко разработана инструментальная система, позволяющая рассчитывать технологические параметры нового непрерывного металлургического процесса во взаимосвязи с основными конструктивными параметрами агрегата, что создает основу для автоматизации проектирования вновь создаваемых агрегатов. За все время работы участвовал в научных исследованиях по разработке нового непрерывного металлургического процесса и агрегата струйно-эмульсионного типа на принципах теории самоорганизации. В частно-

сти, в рамках выполнения госбюджетной темы в 2011 году рассчитаны параметры процесса и агрегата для пилотного образца СЭР с годовой производительностью 30 тысяч тонн. Начиная с 2000 года основным направлением деятельности (помимо собственно обучения) является разработка программного обеспечения: инструментальные системы моделирования, система компьютерного тестирования, система проведения соревнований по программированию, участие в разработке системы содействия трудоустройству, корпоративной информационной системы управления учебным процессом, ряд других программ.

Имеет более 50 учебно-методических и научных публикаций

4. Падалко Алексей Гаврилович, доцент, кандидат технических наук.

Телефон: 73-99-32.

Родился 20 апреля 1949 года. В 1968 году поступил на вечернее отделение Сибирского металлургического института на специальность «Автоматизация металлургического производства», в 1974 году защитил диплом по этой специальности. В 1977 г. зачислен в заочную аспирантуру, которую закончил в 1981 г. С ноября 1986 г. работает доцентом кафедры информационных технологий в металлургии.

Кандидатская диссертация – «Разработка наглядных информационных моделей сталеплавильных процессов и их использование в АСУ ТП и обучении операторов», 1984 г. В кандидатской диссертации разработан оригинальный подход к созданию образно-наглядных систем отображения информации, который был высоко оценен руководителем одной из лабораторий Института психологии РАН.

Научные интересы: математическое и физическое моделирование, обучающие системы, тренажеростроение, технические средства автоматизации производственных процессов, электроника, микропроцессорная техника.

Принимал активное участие в подготовке и проведении экспериментов на опытной установке нового металлургического процесса на Запсибметкомбинате. Кроме того вместе с С.Ю. Красноперовым и другими участниками творческой группы была создана автоматизированная система контроля и управления экспериментом. Параллельно с математическим моделированием велись также работы по физическому моделированию (Е.И. Ливерц, А.Г. Падалко, И. Коколевский), что давало возможность проверять адекватность концептуальных и математических моделей.

Принимал участие в создании тренажеров, внедренных на Кузнецком, Западносибирском, Магнитогорском металлургическом комбинатах, в СибГИУ, Днепропетровском металлургическом институте, в шести металлургических техникумах Украины и т.д. Большинство изобретений внедрены в производство и в учебный процесс, так как

связаны с созданием обучающе-тренирующих систем для металлургических процессов и агрегатов.

Разработаны и читаются следующие учебные дисциплины: «Математическая логика и теория алгоритмов», «Электроника и электротехника», «Схемотехника», «Архитектура ЭВМ и систем», «Технические средства и проектирование АСУ ТП», «Управление качеством».

За время научно-педагогической деятельности издано свыше 100 научных и методических работ. Является автором 30 изобретений.

Является лауреатом премии «Молодость Кузбасса» за разработку тренажеров для металлургических производств, награжден медалью Кузбасса «За веру и добро» и знаком «Почетный работник высшего профессионального образования».

Ряд дипломных работ студентов, руководимых А.Г. Падалко, отмечены грамотами и дипломами всероссийского конкурса дипломных работ по металлургии.

5. Буинцев Владимир Николаевич, доцент, кандидат технических наук.

Телефон: 46-43-02. Эл. почта: buincev47@mail.ru.

Родился 20 ноября 1947 года. В 1970 г. окончил СМИ по специальности 05.13.14 «Автоматическое управление и регулирование в металлургической промышленности. С 1970 по 1972 гг. работал инженером-исследователем, младшим научным сотрудником, старшим инженером НТО СМИ. В 1972 году поступил в аспирантуру по специальности «Автоматическое управление и регулирование», окончил в 1975 г. После защиты кандидатской диссертации в 1975 году принят ассистентом на кафедру автоматизации металлургического производства. В 1979 году был избран по конкурсу на должность доцента той же кафедры, в 1980 г. присвоено ученое звание доцента. С 16.12.1980 переведен на должность доцента на кафедру математического обеспечения и применения ЭВМ в металлургии, которая в 1996 году переименована в кафедру информационных технологий в металлургии, где и работает по настоящее время.

Кандидатская диссертация – «Последовательная идентификация основных процессов мартеновской плавки методом подстраиваемой модели», 1975 г.

Научные интересы: математическое моделирование технологических процессов.

На основе разработанных математических моделей в 1975 – 1980 гг. на большинстве мартеновских печей Кузнецкого и Карагандинского металлургических комбинатов были установлены аналоговые вычислительные устройства, позволившие снизить расход руды в завалку на 10 – 15 %, расход условного топлива на 10 – 15 кг/т стали и эконо-

мать в год до 20 тыс. тонн мазута. С использованием созданных на кафедре моделей и проведенных психолого-педагогических исследований в 1975 – 1985 годах впервые в металлургии были разработаны тренажеры «Сталевар», «Конверторщик» и др., которые внедрены во многих учебных заведениях и на заводах России, Украины и Казахстана, а с 1986 года было взято направление на разработку обучающих систем для персональных ЭВМ. В рамках этого направления созданы тренажеры «Агломератчик», «Сталевар ДСП» и др.

Участвовал в проводящемся на кафедре информационных технологий в металлургии педагогическом эксперименте, результатом которого явилась разработка своеобразной технологии вузовского образования под названием «Концептуально-деятельностный и самоорганизующий подходы к обучению». Параллельно с разработкой тренажеров создавалось методическое обеспечение тренажерных систем. Некоторые способы оценки степени обученности, а также непосредственно тренажерные системы защищены авторскими свидетельствами и патентами РФ.

Награждения: лауреат премии «Молодость Кузбасса», почетная грамота Министерства образования и науки РФ.

Количество публикаций – 69, в том числе 19 патентов и авторских свидетельств.

6. Красноперов Сергей Юрьевич, доцент, кандидат технических наук.

Телефон: 46-94-38. Эл. почта: ks@itm.sibsiu.ru.

Родился 8 февраля 1966 года. В 1988 году успешно закончил Сибирский металлургический институт по специальности «Математическое обеспечение и применение ЭВМ в металлургии».

Трудовую деятельность начал с должности инженера кафедры в Сибирском металлургическом институте, где и работает по настоящее время в должностях доцента.

С 1990 по 1992 год проходил обучение в очной аспирантуре. В 1999 году защитил кандидатскую диссертацию. С 2007 году зачислен в докторантуру, которую окончил в 2010 году.

Кандидатская диссертация – «Разработка и применение систем моделирования и управления сталеплавильными процессами на основе объектно-ориентированного подхода», 1999 г.

Научные интересы: математическое моделирование, инструментальные системы исследования и моделирования, языки и технологии программирования.

Участвовал в научных исследованиях по разработке автоматизированной системы управления технологическими режимами получения металла на опытной установке струйно-эмульсионного типа на принципах самоорганизации.

С использованием объектно-ориентированного подхода совместно с С.Н. Калашниковым создал на основе Excel-приложений удобную для пользователей инструментальную систему моделирования процессов тепло- и массообмена.

Участвовал в разработке автоматизированной обучающе-тренирующей системы по кислородно-конверторному процессу. Обучающая система внедрена в учебный процесс университета и позволяет формировать и контролировать знания, умения и навыки.

Читает лекционные курсы: «Технология программирования», «Представление знаний в информационных системах», «Объектно-ориентированное проектирование», «Интеллектуальные информационные системы», «Объектно-ориентированное моделирование» и др.

Имеет более 60 учебно-методических и научных публикаций.

7. Ермакова Людмила Александровна, доцент, кандидат технических наук.

Телефон: 70-15-63. Эл. почта: ermakova@sibsiu.ru.

Родилась в 1975 году, является выпускницей кафедры, в 1996 году с отличием окончила Сибирскую государственную горно-металлургическую академию. Стаж научно-педагогической работы в вузе составляет 15 лет (с 01.09.1996 – младший научный сотрудник, с 01.12.1999 – научный сотрудник, с 31.08.2000 – старший преподаватель, с 14.06.2001 – доцент). С января 2004 г. работает в должности начальника отдела информатизации образования.

Кандидатская диссертация – «Моделирование тепломассообменных процессов в струйно-эмульсионном агрегате при разработке технологии прямого получения металла из отходов пылевидных материалов», 2000 г.

Научные интересы: математическое моделирование тепломассообменных процессов в дисперсных системах. При выполнении диссертационной работы были разработаны:

– математическая модель и методика решения задачи нестационарного теплообмена частиц шихтовых материалов с учетом фазового перехода;

– методика и результаты моделирования теплообменных процессов совокупности частиц железорудных материалов;

– методика расчета режимов и процессов, протекающих в реакционной камере и рафинирующем отстойнике, для технологии прямого получения металла из отходов и пылевидных материалов.

За время работы в университете принимала участие в выполнении 12 госбюджетных НИР.

С 2010 года участвует в госбюджетной НИР «Разработка научно-технических основ для создания технологии подготовки и сжигания суспензионного угольного топлива, приготовленного на основе отходов углеобогащения, и пилотного образца автоматизированного энергогенерирующего комплекса».

Читает лекционные курсы «Информатика», «Компьютерная геометрия и графика», «Мультимедиа технологии» для студентов, «Информационные технологии в образовании», «Технологии создания электронных учебных ресурсов» для магистров.

Имеет 45 публикации, из них 9 учебно-методических и 25 научных работ, используемых в педагогической практике.

За высокие достижения в разработке и внедрении информационных технологий Л.А. Ермакова неоднократно отмечалась благодарностями по университету, награждена почетной грамотой администрации г. Новокузнецка, а также почетной грамотой Министерства образования и науки Российской Федерации.

8. Оленников Алексей Александрович, доцент, кандидат технических наук.

Телефон: 74-86-29. Эл. почта: AOlennikov@newmail.ru.

Родился 03 ноября 1982 года. В 2005 году окончил СибГИУ с отличием по специальности инженер теплогазоснабжения и вентиляции. В августе 2005 г. принят на должность ассистента на кафедру «Теплогазоснабжение и вентиляция» архитектурно-строительного факультета при Сибирском государственном индустриальном университете. Параллельно работал проектировщиком в ФГУП ПИ «Сибирский сантехпроект» в отделе отопления и вентиляции. В октябре 2005 года поступил в очную аспирантуру, в декабре 2009 года защитил кандидатскую диссертацию в ученом совете 212.252.02 при Сиб-

ГИУ по специальности 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. С 2011 года приступил к работе над докторской диссертацией.

Кандидатская диссертация – «Математическое моделирование и комплекс программ для решения задач утилизации вторичной энергии отходящих газов металлургических агрегатов струйно-эмульсионного типа».

Научные интересы: математическое и физическое моделирование, разработка алгоритмов и программного обеспечения, энергосбережение предприятий и административно-бытовых комплексов, проектирование систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Тематика научных исследований:

- глубокое использование топлива в технологических аппаратах и агрегатах прямого восстановления железа;
- математическое и физическое моделирование энергетических процессов и агрегатов;
- оптимизация работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования;
- экономия тепловой энергии путем регулирования в тепловых пунктах;
- вопросы энергосбережения на объектах различного назначения.

Является автором программных комплексов:

- «SKV_Sapг» – моделирование и выбор оптимальных схем энергоутилизации от металлургических агрегатов;
- «Терло» – расчет тепловых потерь промышленных и административно-бытовых зданий;
- «Infiltration» – расчет инфильтрации воздуха;
- «Smoke removal» – расчет противодымной защиты при пожаре.

Количество публикаций результатов исследований разработок – 67, в том числе 7 учебно-методических.

За разработку программного комплекса «Smoke removal» награжден серебряной медалью на кузбасской ярмарке «Промышленная и коммунальная энергетика», ВВТК-2006.

В 2014 году получил грант губернатора Кемеровской области в номинации «Молодые ученые», кандидаты наук.

3 НАУЧНАЯ ШКОЛА СЕГОДНЯ

Математическое моделирование, создание прикладных инструментальных систем и новых металлургических процессов и агрегатов на принципах самоорганизации



Руководители научной школы:

*Цымбал Валентин Павлович,
д.т.н., профессор,
заслуженный деятель наук РФ,
академик МАН ВШ*

*Мочалов Сергей Павлович,
д.т.н., профессор,
заслуженный работник ВШ,
академик МАН ВШ*

Коллектив научной школы:

Калашников С.Н., д.т.н., доцент;
Рыбенко И.А., к.т.н., доцент;
Падалко А.Г., к.т.н., доцент;
Буинцев В.Н., к.т.н., доцент;
Кожемяченко В.И., к.т.н., доцент;
Красноперов С.Ю., к.т.н., доцент;
Ермакова Л.А., к.т.н., доцент;
Оленников А.А., к.т.н., доцент;

Огнев А.М., к.т.н., доцент;
Малинов М.Б.;
Климов В.Ю.;
Милованов М.М.;
Шендриков А.Е.;
Куксов И.А.;
Сеченов П.А.

Профессор В.П. Цымбал одним из первых в стране в 1960 году начал заниматься математическим моделированием металлургических процессов. Коллективом сотрудников кафедры под руководством В.П. Цымбала в 1975 – 1980 годах на большинстве мартеновских печей Кузнецкого и Карагандинского металлургических комбинатов были установлены аналоговые вычислительные устройства, позволившие полу-

чить большой экономический эффект за счет значительного снижения расхода топлива.

В 1985 – 1990 годах по инициативе профессора В.П. Цымбала было создано новое для мировой металлургии направление: «Математические модели и новые металлургические процессы на основе принципов самоорганизации», в рамках которого разработаны и доведены до реализации в виде опытной установки на Западно-Сибирском металлургическом комбинате принципиально новый непрерывный металлургический процесс и агрегат типа СЭР. Преимуществами процесса и агрегата типа СЭР являются: высокие скорости тепломассообменных процессов (в 100 – 200 раз выше, чем в конвертере); малые размеры и материалоемкость агрегатов (в 10 – 15 раз меньше, чем в традиционной металлургии); низкие сквозные энергозатраты (15 – 17 ГДж/т); высокая экологичность и безотходность технологий, использование в шихте пылевидных материалов и отходов; управляемость, универсальность, мобильность; возможность выплавки различных металлов и реализации новой концепции создания мини-заводов и структурных изменений в металлургии. Процесс и агрегат запатентованы в большинстве металлопроизводящих стран мира.

Реализация разработанных под руководством С.П. Мочалова при участии Р.С. Айзатулова, К.М. Шакирова, Е.И. Ливерца и др. в 1980 – 1981 годах математических моделей и оптимальных режимов продувки в конверторном производстве Западно-Сибирского металлургического комбината позволила повысить выход жидкой стали почти на 1 %, что дало очень большую экономию средств (около 1 млн. руб. в ценах тех лет).

В рамках докторской диссертации С.П. Мочалова были разработаны программно-инструментальные системы для реализации математических моделей нового металлургического процесса.

Развитие разработок по этим системам было осуществлено в кандидатских диссертациях И.А. Рыбенко, В.И. Кожемяченко, С.Ю. Красноперова, Л.А. Ермаковой, а также в докторской диссертации С.Н. Калашникова.

На основе созданных научным коллективом математических моделей и проведенных психолого-педагогических исследований в 1975 – 1985 годах впервые в металлургии были разработаны тренажеры «Сталевар», «Конвертерщик» и др., которые были внедрены во многих учебных заведениях и заводах России, Украины и Казахстана. Эти разработки стали основой диссертационных работ В.Н. Буинцева, А.Г. Падалко, А.Ф. Сакуна.

С 1986 года начало развиваться еще одно новое направление на разработку обучающих систем для персональных ЭВМ, а затем – на разработку электронных учебников. В настоящее время разработкой

таких учебников занимается большинство преподавателей кафедры, она является ведущей в университете по этому направлению, отправляя на государственную регистрацию по несколько электронных учебников ежегодно.

В последние годы продолжались исследования по созданию математических моделей и программно-инструментальных систем для разработки новых металлургических технологий и учебного процесса. Так, например, в кандидатской диссертации А.М. Огнева разработан комплекс математических моделей и автоматизированная система проектирования гарнисажного охлаждения металлургических агрегатов, что позволяет решать задачи обеспечения стойкости агрегатов с одновременной утилизацией тепла и большой экономией огнеупоров. А в кандидатской диссертации А.А. Оленникова решалась задача создания систем для оптимального использования вторичных энергетических ресурсов.

Продолжалось патентование процесса и агрегата типа СЭР. В 2004 году получен патент на «Способ получения металлов из рудных материалов и агрегатов для его осуществления», реализация которого позволит, например, создать безотходную технологию переработки титано-магнетитовых руд с одновременным получением железа и кондиционного сырья (титанистого шлака) для титановой промышленности. В 2009 году получен патент на «Способ прямого восстановления металлов с получением синтез-газа и агрегат для его осуществления». Реализация этого изобретения позволит полностью исключить выбросы газа из металлургического агрегата, превращая их в энергетический или синтез-газ с его последующей подачей в агрегат каталитического синтеза для превращения в экологически чистое моторное топливо, стоимость которого превышает стоимость получаемого металла.

Разработана методика и система моделирования и оптимизации статических и стационарных режимов технологических процессов, которая использовалась для расчета следующих технологий: непрерывного металлургического процесса типа СЭР, кислородно-конвертерного и электросталеплавильного процессов, процесса получения марганца для макетной и опытно-промышленной плазменной печи, процессов горения суспензионного угольного топлива в вихревой адиабатической топке. Результаты расчетов использовались при моделировании стадий и подпроцессов работы автоматизированных энергогенерирующих комплексов; расчете, исследовании и оптимизации режимов АЭГК, что позволило разработать новые технологические решения для действующих производств, а также создать теоретические основы и провести

предварительные расчеты режимов при разработке перспективных автоматизированных энергогенерирующих и энерготехнологических комплексов различной мощности.

В настоящее время ведутся фундаментальные исследования по разработке моделей синергетических процессов и синергетической концепции создания новых металлургических процессов и агрегатов.

Создана лаборатория моделирования и автоматизированного эксперимента, в которой собрана уникальная автоматизированная лабораторная установка низкотемпературного физического моделирования процессов с элементами самоорганизации, стоимостью 250 тыс. руб.

Разработки в рамках научного направления

1. Инструментальная система расчета технологических параметров нового непрерывного металлургического процесса во взаимосвязи с основными конструктивными параметрами агрегата.

2. Инструментальная система термодинамического моделирования на основе программного комплекса «Астра».

3. Методика и система расчета статических и стационарных режимов технологических процессов.

4. Инструментальная система моделирования краевых задач тепло- и массообмена на основе Excel-приложений.

5. Система автоматизации эксперимента для опытной установки с графическим отображением информации.

6. Модели массообменных процессов в дисперсных частицах.

7. Комплекс математических моделей и автоматизированная система проектирования гарнисажного охлаждения металлургических агрегатов.

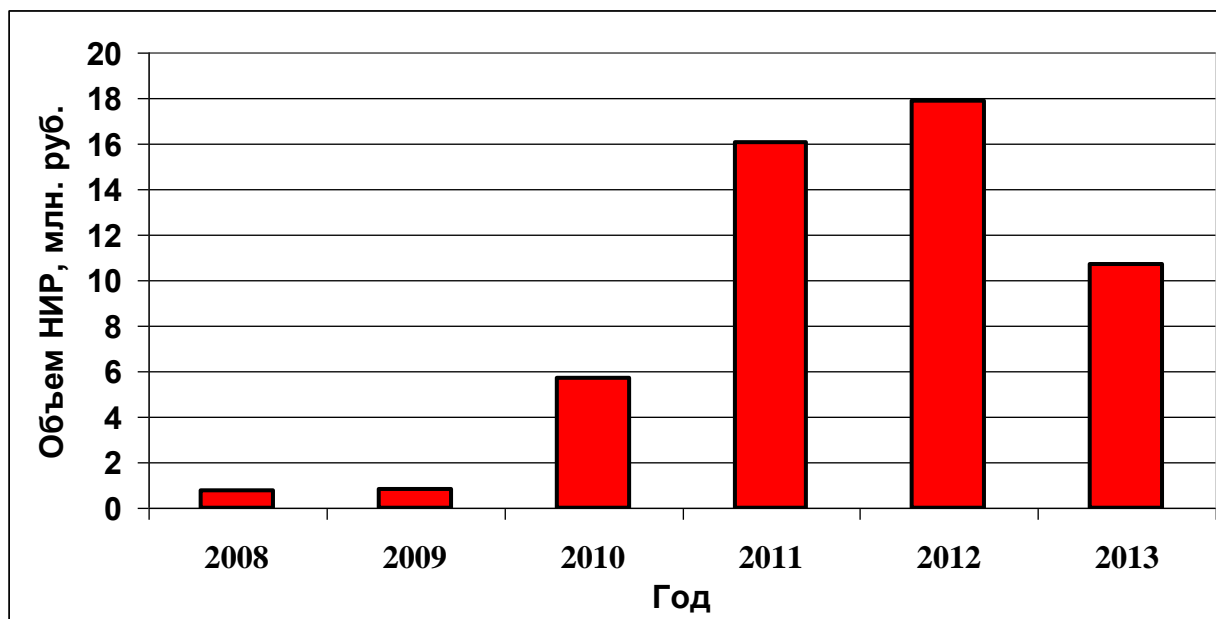
8. Программный продукт для расчетов вариантов систем использования вторичной энергии.

9. Автоматизированная лабораторная установка, с микропроцессорным управлением и SCADA-системой, для исследования принципов управления процессами, обладающими синергетическими свойствами.

10. Модели синергетических процессов и синергетической концепции создания новых металлургических процессов и агрегатов.

Показатели научно-исследовательской работы

Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	ИТОГО
Объем НИР, млн. руб.	0,8	0,8	5,7	16,1	17,9	10,7	52,0



Тематика НИР

1. Математическое моделирование синергетических процессов прямого восстановления металлов в струйно-эмульсионных системах. Руководитель – В.П. Цымбал. 2010 – 2012 гг.

2. Математические модели и комплекс программ для системы глубокого использования энергии исходного топлива на основе самоорганизующегося струйно-эмульсионного металлургического агрегата. Руководитель – В.П. Цымбал. 2012 – 2014 гг.

3. Разработка научно-технических основ для создания технологии подготовки и сжигания суспензионного угольного топлива, приготовленного на основе отходов углеобогащения, и пилотного образца автоматизированного энергогенерирующего комплекса. Руководитель – С.П. Мочалов. 2010 – 2012 гг.

4. Исследования в области переработки твердых топлив для получения энергетических ресурсов, жидких моторных топлив и вторичных продуктов. Руководитель – С.П. Мочалов. 2013 г.

5. Разработка системы межвузовского взаимодействия в области электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Руководитель – С.П. Мочалов. 2013 г.

6. Современные энерготехнологические процессы глубокой переработки твердых топлив. Руководитель – М.Б. Школлер. 2012 г.

Научный коллектив сегодня



*Первый ряд слева направо: С.Н. Калашиников, д.т.н., профессор;
М.И. Жданов, учебный мастер; Л.Г. Смирнова, зав. лабораториями;
М.Б. Школлер, д.т.н., профессор; И.А. Рыбенко, к.т.н., доцент;
В.П. Цымбал, д.т.н., профессор; А.И. Суставова, вед. инженер.*

*Второй ряд слева направо: В.И. Кожемяченко, к.т.н., доцент;
С.Ю. Красноперов, к.т.н., доцент; М.М. Милованов, ст. преподаватель;
А.Г. Падалко, к.т.н., доцент; В.Н. Буинцев, к.т.н., доцент;
А.Е. Шендриков, ст. преподаватель; В.Ю. Климов, ст. преподаватель;
Л.А. Ермакова, к.т.н., доцент*

Состав коллектива научной школы

На кафедре работают 3 профессора, доктора технических наук, 7 доцентов, кандидатов технических наук, 5 старших преподавателей, аспиранты, инженеры.

Публикации авторского коллектива

За период существования научной школы сотрудниками кафедры ИТМ опубликовано более 650 статей и докладов на конференциях и конгрессах различного уровня, в том числе международных, полу-

чено более 50 авторских свидетельств и патентов, защищено 16 кандидатских, и две докторских диссертаций.

За последний год опубликовано более 30 статей, в том числе 4 статьи в зарубежных изданиях, 2 статьи, индексируемые иностранными базами данных, сотрудники кафедры участвовали в 10 конференциях различного уровня.

В 2001, 2006 и 2011 годах проведены всероссийские научно-практические конференции на тему «Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии». Выпущены сборники трудов объемом 400 – 500 страниц.

Основные публикации

1. Цымбал В.П. Введение в теорию самоорганизации: с примерами из металлургии : учеб. пособие / В.П. Цымбал ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. СибГИУ, 2001. – 251 с.

2. Цымбал В.П. Модели и механизмы самоорганизации. Часть 1. Термодинамический подход к самоорганизации / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2004. – 170 с.

3. Цымбал В.П. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. Часть 2 Формальное описание эволюции и самоорганизации / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2004. – 275 с.

4. Цымбал В.П. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. Часть 3. Примеры реализации идей и принципов синергетики / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2005. – 300 с.

5. Цымбал В.П. Моделирование и оптимизация технических процессов: электронный учебно-методический комплекс. [Электронный ресурс] / В.П. Цымбал, Д.П. Шуварилов, З.В. Гродина. – Новокузнецк: СибГИУ, 2012. – 200 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – № гос. регистрации 0321203304.

6. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии. / В.П. Цымбал. – Кемерово – Москва: Изд. объедин. «Российские университеты» Кузбассвуиздат-АСТШ, 2006. – 431 с.:ил.

7. Школлер М.Б. Современные энерготехнологические процессы глубокой переработки твердых топлив. / М.Б. Школлер, М.И. Дьяков, С.П. Субботин. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2012. – 248 с.

8. Процесс СЭР – металлургический струйно-эмульсионный реактор / Под ред. В.П. Цымбала. – М: «Металлургиздат», 2014. – 478 с.

Иллюстрации основных разработок научной школы

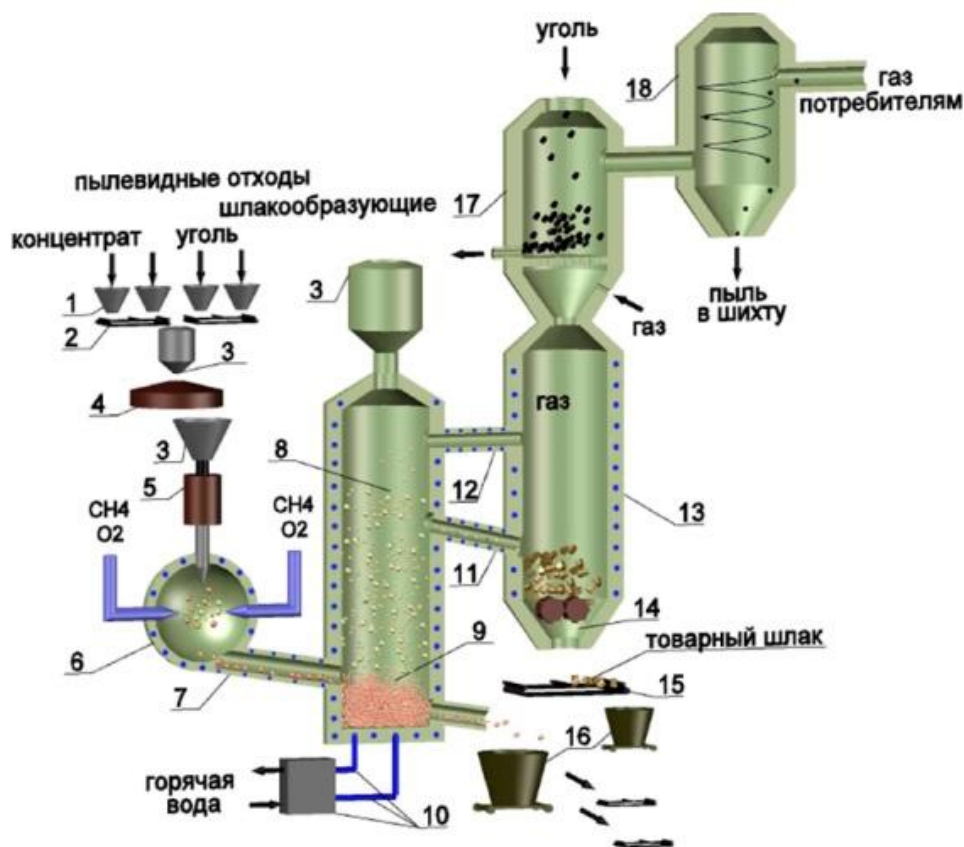


Рисунок 3.1 – Технологическая схема мини-модуля на основе процесса СЭР

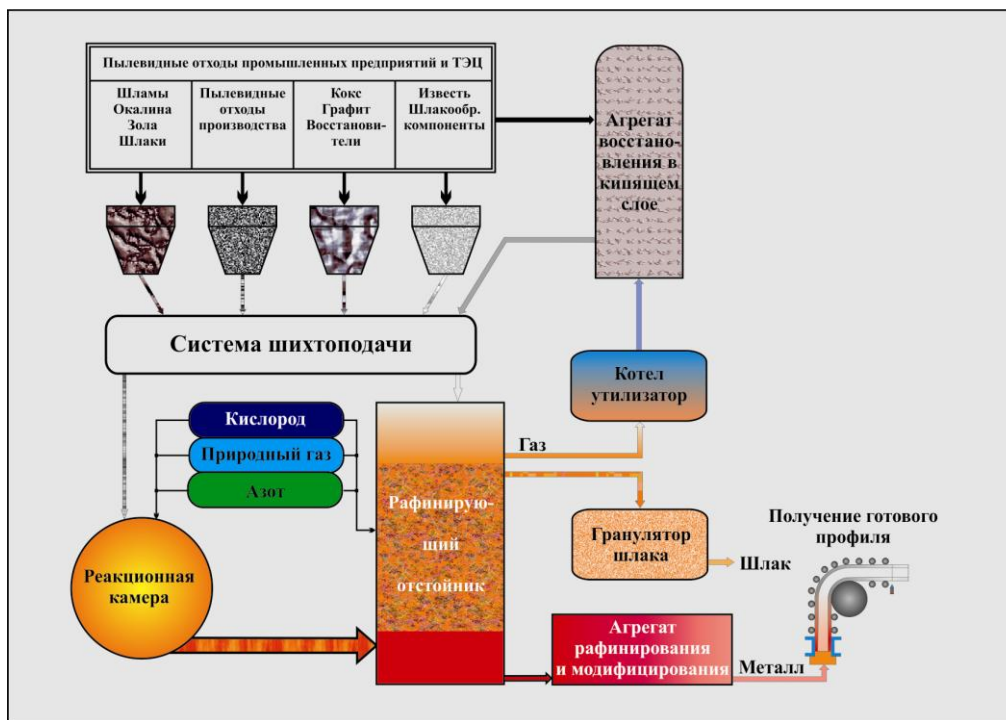


Рисунок 3.2 – Общая структура технологического модуля

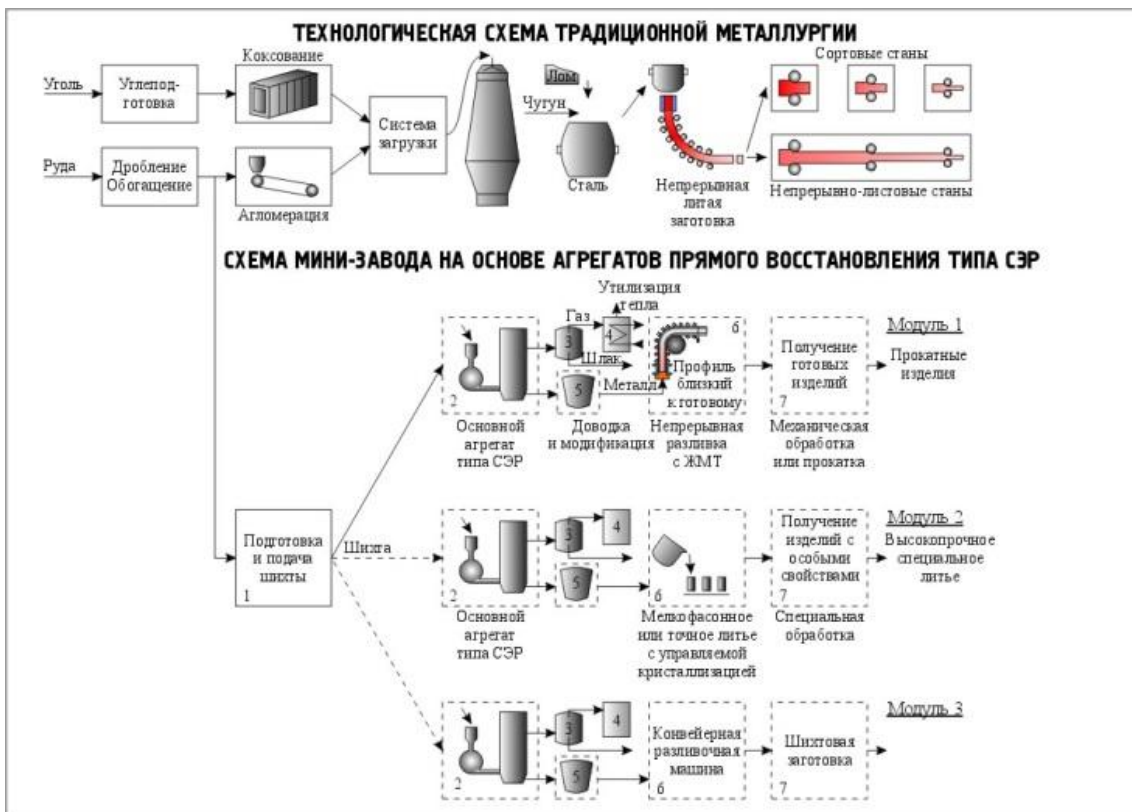


Рисунок 3.3 – Сопоставление с традиционной металлургией и возможные варианты реализации технологических схем

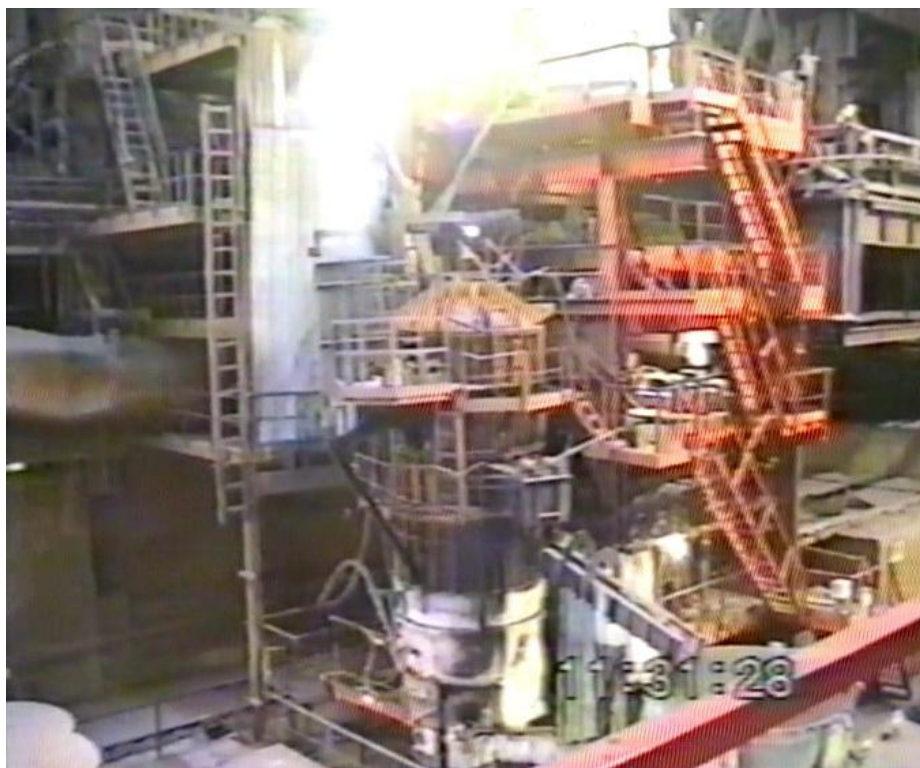


Рисунок 3.4 – Общий вид опытного образца агрегата СЭР в конвертерном цехе Запсибметкомбината



Слева-направо: Е.И. Ливерц, доц., к.т.н.; А.Г. Падалко, доц., к.т.н.;
С.П. Мочалов, проф., д.т.н. – ответственный исполнитель;
В.В. Воронов – оператор пульта управления; В.П. Цымбал, проф.,
д.т.н. – руководитель экспериментов, В.П. Тютюльников – старший
мастер опытной установки, члены сталеварской бригады

Рисунок 3.5 – Группа исследователей после очередного эксперимента

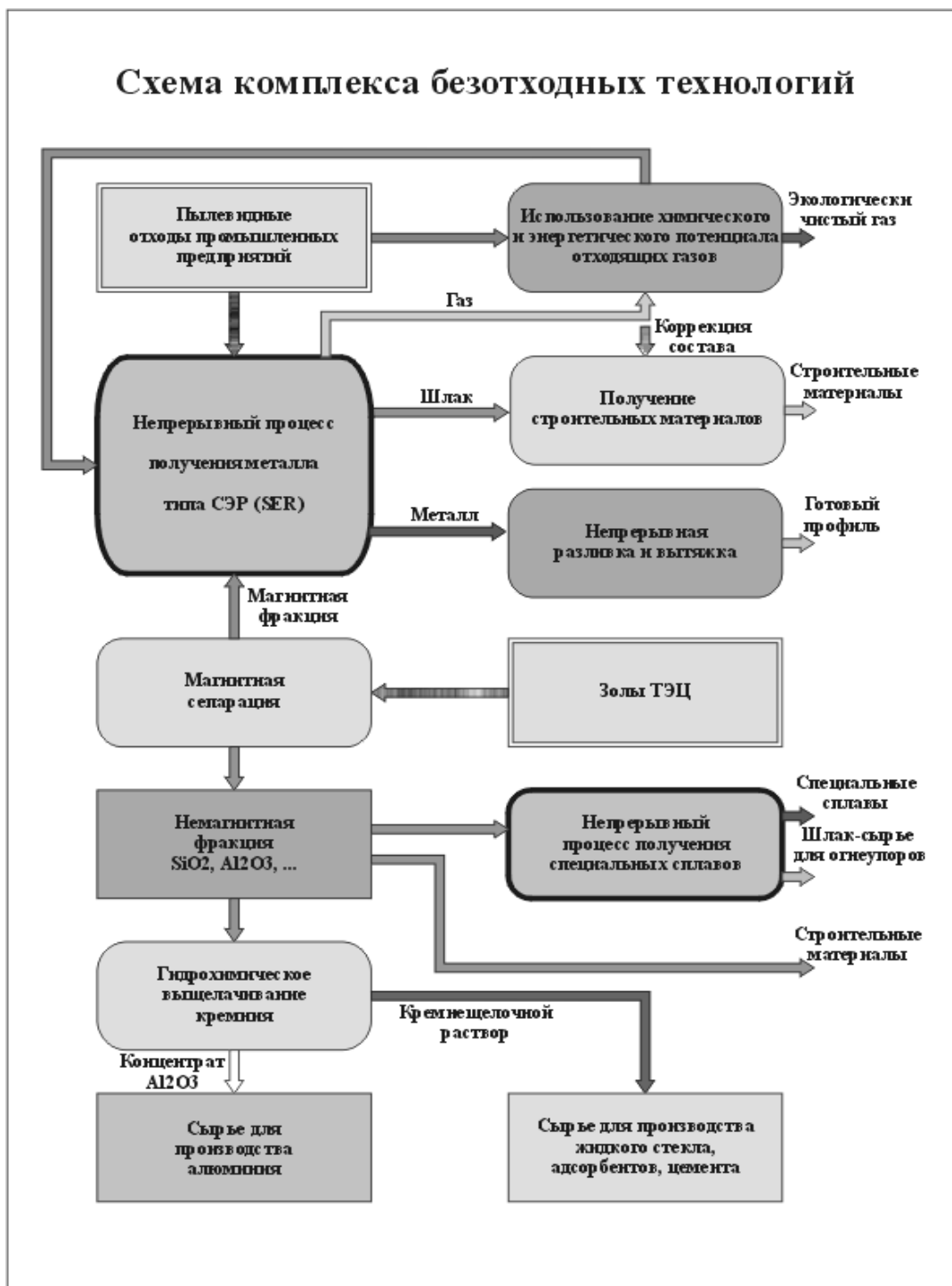


Рисунок 3.6 – Схема комплекса безотходных технологий



Рисунок 3.7 – Пилотный образец установки для сжигания
ВОДОУГОЛЬНЫХ ОТХОДОВ



Рисунок 3.8 – Вихревая топка для сжигания твердых угольных отходов

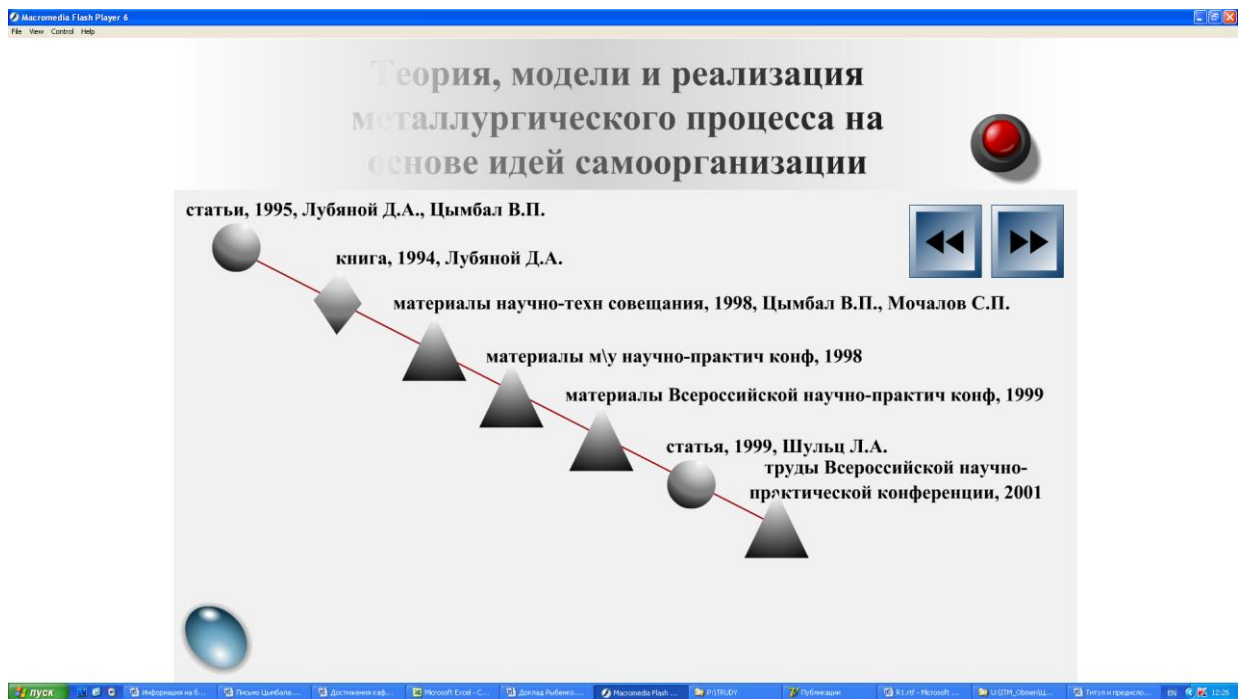
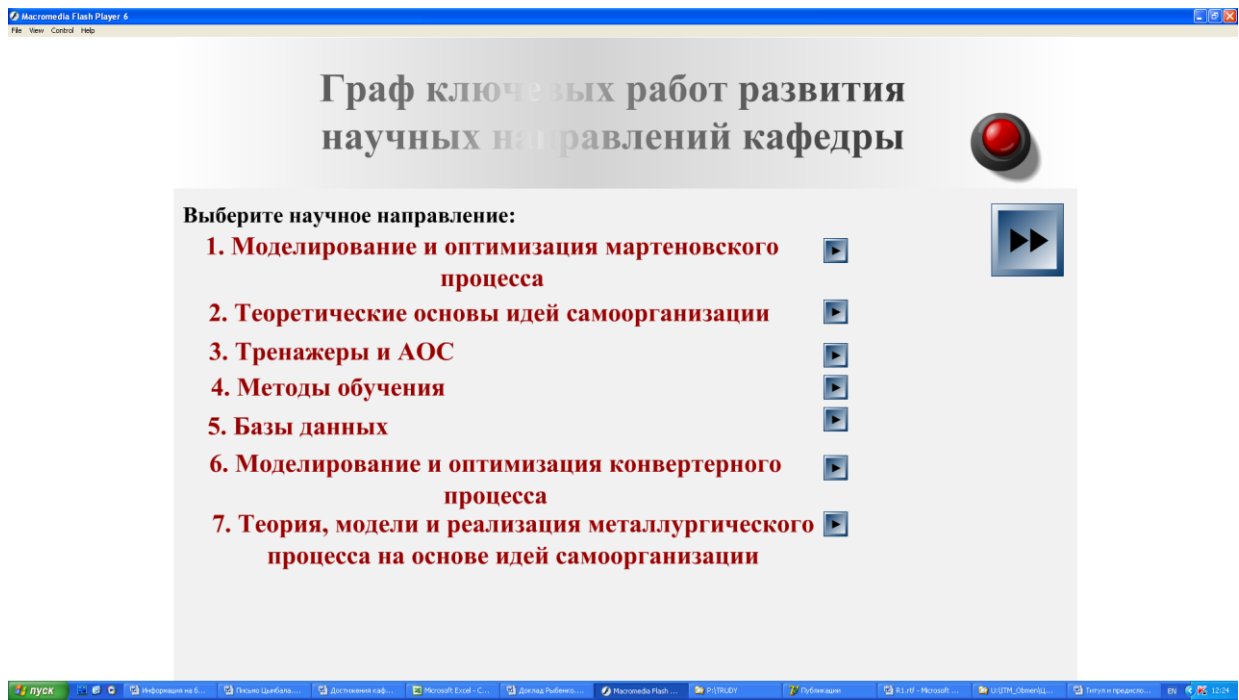


Рисунок 3.9 – фрагменты электронной реализации граф-индекса научных направлений

4 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГРАФА-ИНДЕКСА

В этом разделе мы продолжили традицию представления основных научных работ авторского коллектива в виде графа-индекса научных ссылок, что, с одной стороны, позволяет достаточно компактно, системно и наглядно представить основные научные направления, с другой стороны – открывает возможность легкого доступа к интересующим работам.

Эта традиция была начата в 2000 году большой обобщающей статьей (см. Цымбал В.П. Известия вузов. ЧМ, 2000, № 8), в которой представлена история формирования и развития научных направлений и авторских коллективов начиная с 1962 года по 1999 год. На рисунке 4.1 графе-индексе этому периоду соответствуют узлы графа 1 – 96. Здесь мы лишь коротко коснемся основных направлений, представленных на этом графе.

Самая верхняя ветвь графа (1 – 18 и 31 – 34) относятся к началу становления авторского коллектива и посвящена задачам математического описания и оптимизации мартеновского производства. Ветвь, включающая узлы 19 – 30, относится к 1976 – 1991 годам и связана с интенсивным развитием впервые в стране задачи создания тренажеров для металлургии. Особенно плодотворными оказались 1981 – 1986 годы (узел 27), когда было создано более десяти тренажеров для управления подготовки кадров Минчермета Украины. Следует отметить также 1991 год (узел 30), связанный с созданием первого тренажера чисто компьютерного типа для персональных ЭВМ. Ветвь с узлами 36 – 52, относящаяся к 1978– 1991 годам, связана с математическим описанием и оптимизацией конвертерного производства. Фамилии членов авторского коллектива и годы, здесь и на других ветвях графа, можно видеть против соответствующих узлов графа.

Следующие две больших ветви графа (узлы 58, 59 – 78, 79 – 96), охватывающие период 1985 по 1999 годы, относятся, по-видимому, к наиболее плодотворному периоду деятельности кафедры, когда на основе восприятия идей самоорганизации (12, 13, 58) было создано новое научное направление «Модели и новые металлургические процессы на основе идей теории самоорганизации». В рамках этого направления был получен патент СССР (узел 61) и ряд международных патентов (62), написано обобщающее учебное пособие «Введение в теорию самоорганизации», защищена одна докторская (С.П. Мочалов) пять кандидатских диссертаций (С.Н. Калашников, С.Ю. Красноперов, В.И. Кожемяченко, И.А. Рыбенко, Д.А. Лубяной). Самым

важным достижением является создание совместно со специалистами-технологами и проектировщиками Запсиба крупномасштабной опытной установки и проведение на ней уникальных экспериментов. Важным событием этого периода является участие создателей нового процесса в крупнейшем международном конгрессе Recovery, Recycling, Re-integration в Женеве в 1997 и 1999 годах и публикация трудов в ряде зарубежных изданий (узлы 85 – 88).

Заканчивая представление этой части графа (узлы 1 – 96), еще раз рекомендуем обратиться к упомянутой выше обобщающей статье (Известия вузов. ЧМ, 2000, № 8), в которой можно подробнее ознакомиться с кратко обозначенными выше научными направлениями и ссылками. Следует также подчеркнуть, что рассмотренный выше граф представлен на сайте кафедры информационных технологий в металлургии <http://www.sibsiu.ru/itm>, где усилиями выпускниц кафедры Марии Бегишевой и Зои Гродиной каждый узел (от 1 до 96) дополнен навигационными ссылками на конкретные работы, отвечающие каждому из узлов.

Вернемся к упомянутой выше последней ветви графа (рисунок 4.1). Эта ветвь (узлы 97 – 114) появилась во второй обобщающей статье, посвященной 25-летию кафедры ИТМ и 75-летию университета – Перспективные промышленные технологии и материалы: науч. тр. ; Сиб. гос. индустр. ун-т / отв. ред. В.Е. Громов, С.Н. Кулаков. – Новосибирск : «Наука», 2004. – С. 539–569.

Здесь обобщены 90 работ, посвященных важным итоговым экспериментам на опытной установке, инструментальным системам моделирования и информационным технологиям и другим вопросам. Прежде всего, следует отметить выпущенный кафедрой большой сборник (500 стр.) трудов под редакцией С.П. Мочалова, по результатам организованной кафедрой всероссийской конференции «Математическое моделирование и наукоемкие технологии в металлургии». В этом сборнике (узел 104) опубликовано около 30 работ сотрудников кафедры совместно со специалистами Запсиба, посвященных отмеченным выше вопросам. Это издание, как ссылка из графа-индекса, помещено на сайте кафедры ИТМ – <http://www.sibsiu.ru/itm>. Следует также отметить защиту кандидатской диссертации Л.А. Ермаковой (узел 101) и докторской диссертации С.Н. Калашниковым (узел 111).

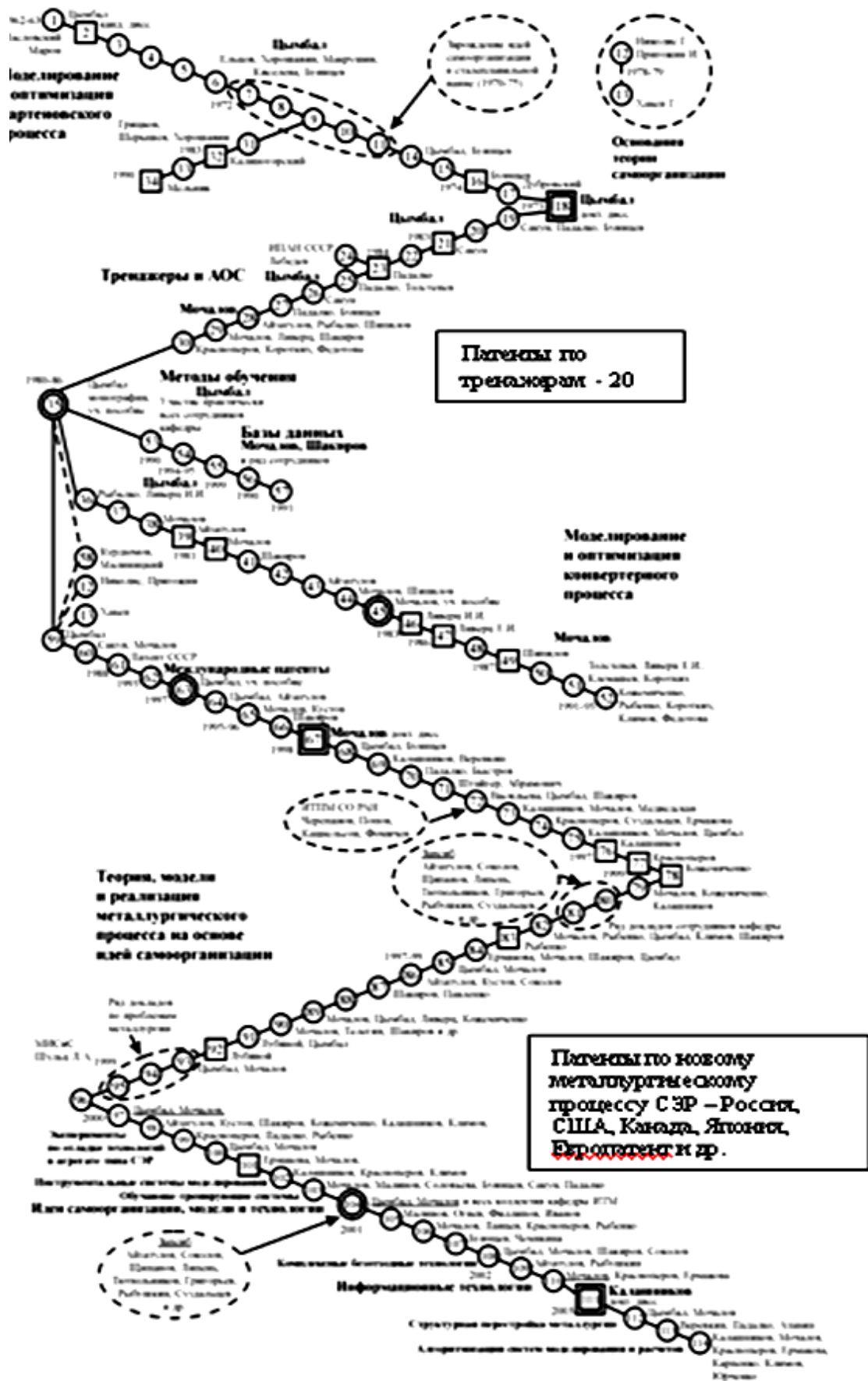


Рисунок 4.1 – Граф-индекс работ за 1962 – 2003 годы

В заключение анализа этой ветви графа следует отметить большой всплеск публикаций аспирантов, магистрантов и студентов в 2003 году в трудах Всесоюзной научной конференции «Наука и молодежь» (узел 115). В этих публикациях приняло участие 16 молодых ученых: М.Б. Малинов, А.Е. Шендриков, И.В. Костин, А.А. Давыдкин, И.Ю. Юрченко, А.С. Куричев, Д.В. Минеев, С.И. Крюков, С.В. Карпенко, Е.И. Гудукин, С.А. Шипилов, А.М. Огнев, И.Г. Васильева и др.

Обозначив узел, относящийся к упомянутому молодежному сборнику, как 115, с него начинается описание следующей новой ветви графа, относящейся к 2004 – 2009 годам (рисунок 4.2). Следующий узел 116 относится к учебному пособию «Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях», авторами которого являются В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников. Это издание состоит из трех частей:

Часть I – «Термодинамический подход к самоорганизации».

Часть II – «Формальное описание эволюции и самоорганизации».

Часть III – «Примеры реализации идей и принципов самоорганизации».

Это издание является обобщением и систематизацией большого количества имеющихся литературных данных, по этому новому научному направлению, а также включает оригинальные результаты, полученные авторами. Особенно это касается глав 9 и 10.

Узел 117 соотносится со сборником трудов «Информационные технологии в экономике, науке и образовании» (г. Бийск), в котором опубликовано 10 работ сотрудников нашей кафедры: Л.А. Ермаковой, В.Н. Буинцева, С.А. Шипилова, С.П. Мочалова, И.А. Рыбенко, М.Б. Малинова, В.П. Цымбала, А.М. Огнева, С.Н. Калашникова, Е.Н. Гудукина, М.С. Калашниковой.

Близкий по отмеченному выше направлению сборник трудов: «Обучающе-тренинговые дидактические системы и технологии в сфере образования» был выпущен в СибГИУ в 2004 году под редакцией С.П. Мочалова (узел 118). В нем также опубликовано 10 работ сотрудников кафедры: С.П. Мочалова, М.Б. Малинова, В.Ю. Климова, В.И. Кожемяченко, Л.А. Ермаковой, А.А. Давыдкина, С.Н. Калашникова, В.П. Цымбала, Д.П. Шуварилова, М.А. Бегишевой, З.В. Гродиной.

Вопросы автоматизации и алгоритмизации технологических процессов (узел 119) рассмотрены в выпущенном в г. Магнитогорске (МГТУ) межвузовском сборнике, в представленных в нем публикациях участвовали: А.Г. Падалко, С.Ю. Красноперов, В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, И.А. Рыбенко, Д.Б. Горбунов, А.Е. Шендриков.

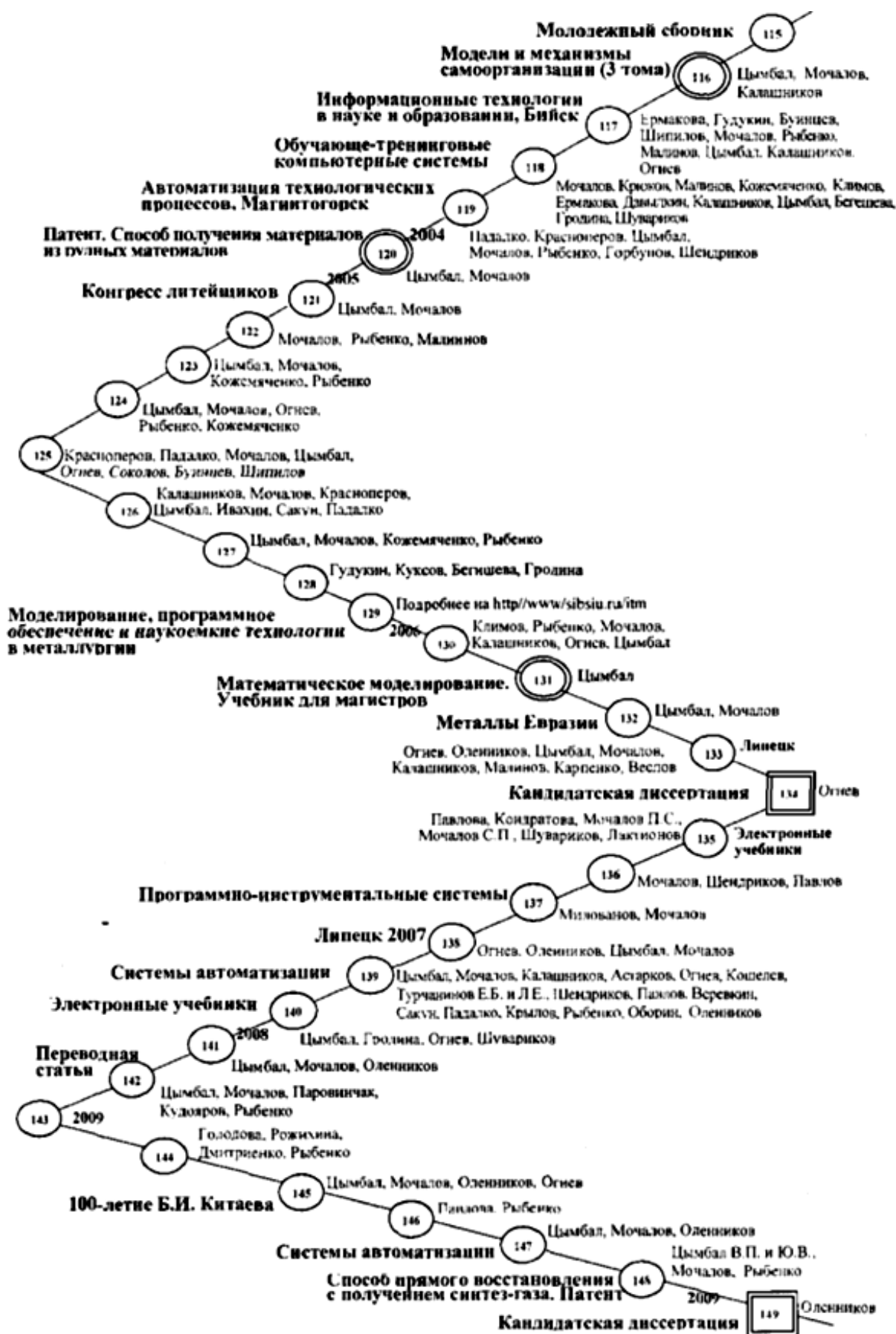


Рисунок 4.2 – Граф-индекс работ за 2004 – 2009 годы

Обзор основных трудов 2004 года завершён важным патентом «Способ получения металлов из рудных материалов и агрегат для его осуществления» (узел 120), а 2005 год начинается узлом 121, соотносящимся с докладом В.П. Цымбала и С.П. Мочалова на конгрессе литейщиков в г. Новосибирске: «Новые возможности для реконструкций литейных цехов и развития мини-металлургии открывает процесс и агрегат типа самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор».

В узле 122 помещены 2 статьи (С.П. Мочалов, И.А. Рыбенко, М.Б. Малинов), посвященные вопросам инструментальных систем расчета металлургических процессов и обучения персонала, а в узле 123 помещена обширная статья (В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, В.И. Кожемяченко, И.А. Рыбенко), посвященная процессу СЭР как примеру наукоемкой технологии в металлургии.

В узле 124 представлены труды конференции по управлению отходами, где помещены доклады В.П. Цымбала, С.П. Мочалова, А.М. Огнева, И.А. Рыбенко, В.И. Кожемяченко, посвященные новому экологически безопасному процессу и моделям гарнисажного охлаждения с утилизацией тепла.

В трудах Международной конференции «Металлургия России на рубеже XXI века» (узел 125) помещено 4 доклада сотрудников школы (С.Ю. Красноперов, А.Г. Падалко, С.П. Мочалов, В.П. Цымбал, А.М. Огнев, В.В. Соколов, В.Н. Буинцев, А.С. Шипилов), посвященных автоматизированному эксперименту на опытной установке СЭР, системе гарнисажного охлаждения, процессу комплексной переподготовки отходов, моделированию процесса самораскипания ванны.

Узел 126 соотносится с трудами 5-ой всероссийской конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве», в которой участвовали: В.П. Цымбал, А.П. Ивахин, С.Н. Калашников, С.П. Мочалов, С.Ю. Красноперов, А.Ф. Сакун, А.Г. Падалко.

Узел 127 – доклад В.П. Цымбала, С.П. Мочалова, В.И. Кожемяченко, И.А. Рыбенко на конференции «Современная металлургия начала нового тысячелетия» в г. Липецке.

В сборнике «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения» (узел 128) помещены статьи магистрантов и студентов (Е.И. Гудукин, И.А. Кусков, М.А. Бегишева, З.В. Гродина), выполнивших под руководством В.П. Цымбала исследовательские работы по моделированию металлургических процессов и созданию электронного учебника.

Крупным событием в жизни кафедры явилась вторая всероссийская конференция «Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии» (узел 129), которая была проведена 14 – 17 марта 2006 года. В вышеуказанном (под редакцией С.П. Мочалова) сборнике трудов этой конференции объемом 396 страниц опубли-

ликовано 28 докладов сотрудников кафедры ИТМ. Информацию обо всех докладах можно посмотреть на сайте <http://www.sibsiu.ru/itm>.

С узлом 130 мы сопоставили 3 статьи в журнале «Известия вузов. Черная металлургия» (В.Ю. Климов, И.А. Рыбенко, С.П. Мочалов, А.М. Огнев, В.П. Цымбал, С.Н. Калашников), посвященные инструментальным системам расчета и моделям формирования гарнисажа.

Важным событием 2006 года явился выпуск учебника для магистров и специалистов с грифом Министерства образования (автор В.П. Цымбал) «Математическое моделирование сложных систем в металлургии» (узел 131).

Узлу 132 соответствует статья о процессе СЭР в авторитетном журнале «Металлы Евразии» (В.П. Цымбал, С.П. Мочалов).

Узлу 133 соответствует 8 докладов, представленных на третью международную научно-техническую конференцию в г. Липецке аспирантами кафедры А.М. Огневым, А.А. Оленниковым, М.Б. Малиновым, К.Н. Весловым под руководством В.П. Цымбала, С.П. Мочалова, С.Н. Калашникова.

Узел 134 – кандидатская диссертация А.М. Огнева, которую он защитил точно в трехлетний срок, потому что до аспирантуры закончил магистратуру. Одновременно с ним защитил диссертацию С.В. Карпенко.

2007 год начинается узлом 135, которому соответствует серия пяти электронных учебников: Л.Д. Павловой, О.А. Кондратовой, П.С. Мочаловым, С.А. Лактионовым, С.П. Мочаловым, Д.П. Шувариковым.

Узел 136 – две статьи С.П. Мочалова, А.Е. Шендрикова, В.В. Павлова, посвященных системе мониторинга технологических режимов металлургических агрегатов.

Узел 137 – две статьи М.М. Милованова, С.П. Мочалова, связанных с разработкой программных пакетов и системы управления сайтом университета.

Узлу 138 соответствуют 3 доклада на четвертой международной конференции в г. Липецке «Современная металлургия начала нового тысячелетия», авторы А.М. Огнев, А.А. Оленников, В.П. Цымбал, С.П. Мочалов.

В узле 139 сосредоточена информация о 10 докладах на VI всероссийской конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве», где участвовало большое количество авторов: В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников, С.Н. Астарков, А.М. Огнев, А.Е. Кошелев, Е.Б. Турчанинов, А.Е. Шендриков, В.В. Павлов, В.Е. Веревкин, А.Ф. Сакун, А.Г. Падалко, А.В. Крылов, И.А. Рыбенко, М.Б. Оборин, А.А. Оленников.

2008 год начинается с узла 140 – электронные учебники «Математическое моделирование сложных систем в металлургии» и «Вве-

дение в теорию самоорганизации», авторами которых являются В.П. Цымбал, З.В. Гродина, А.М. Огнев, Д.П. Шуварики.

Узел 141 – статьи В.П. Цымбала, С.П. Мочалова, А.А. Оленникова об использовании вторичных энергоресурсов и создании энергометаллургического комплекса на основе агрегата СЭР.

2009 год открывается узлом 142 с переводной статьей в английском журнале «Stel in Translation» из журнала «Известия вузов. Черная металлургия» «Процесс и агрегат типа самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор позволяет снизить требования к уровню обогащения руд», авторы – В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, М.С. Паровинчак, М.С. Кудояров, И.А. Рыбенко. Статья посвящена очень важной проблеме – выбору рациональной технологии переработки руд начинающегося разрабатываться Багчарского железорудного месторождения, для которого существуют традиционные технологии малоприемлемы.

С узлом 143 сопоставлены 3 статьи аспиранта А.А. Оленникова (руководитель В.П. Цымбал), связанные с моделированием и программным обеспечением системы утилизации тепла от агрегата СЭР.

Узел 144 – статья М.А. Голодовой, И.Д. Рожихиной, В.И. Дмитриенко, И.А. Рыбенко, посвященная исследованию условий восстановления ванадия.

Узлу 145 соответствуют 3 доклада на авторитетной конференции в г. Екатеринбурге «Творческое наследие Б.И. Китаева», посвященных синергетической концепции проектирования новых металлургических агрегатов, моделям оптимизации использования вторичной энергии, авторами которых являются В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, А.А. Оленников, А.М. Огнев.

Узел 146 – статья Л.Д. Павловой, И.А. Рыбенко «Организация образовательного процесса с использованием дистанционных технологий».

Узлу 147 соответствуют 3 доклада на VII всероссийской конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве», посвященных синергетическому подходу при проектировании новых металлургических процессов и оптимизации систем энергоутилизации.

Узел 148 – важный патент «Способ прямого восстановления с получением синтез-газа». Авторы: В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, И.А. Рыбенко, Ю.В. Цымбал.

Заканчивается 2009 год узлом 149, которому соответствует кандидатская диссертация аспиранта А.А. Оленникова (научный руководитель В.П. Цымбал).

Таким образом, в этом графе-индексе удалось обобщить 149 научных работ за период с 1962 по 2009 годы. При этом использован следующий подход. На графе и при описании узлов отмечались, пре-

жде всего, фамилии авторов и основное направление работ. Навигация по этим работам сжато представлена ниже.

Навигация трудов, представленных в узлах графа-индекса за 2004 – 2009 годы (навигацию трудов за 1962 – 2003 гг. см. статью В.П. Цымбал в журнале «Известия вузов. Черная металлургия» за 2000 год, № 8, С. 23)

115. Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: тр. всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып. 7. Ч. II. ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2003. – С. 281–315, 374–376.

116. Цымбал В.П. Модели и механизмы самоорганизации. Ч. 1. Термодинамический подход к самоорганизации : учеб. пособие / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2004. – 170 с.

Цымбал В.П. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. Ч. 2 Формальное описание эволюции и самоорганизации / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2004. – 275 с.

Цымбал В.П. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. Ч. 3. Примеры реализации идей и принципов синергетики / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2005. – 300 с.

117. Информационные технологии в экономике, науке и образовании: тр. 4-й всерос. науч.-практ. конф. – Бийск, 2004. – С.53–57, 94–95, 116–117, 126–128, 135–136, 178–183, 186–188, 199–201.

118. Обучающе-тренинговые компьютерные дидактические системы и технологии в сфере технического образования. сб. науч. тр. / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под ред. С.П. Мочалова. – Новокузнецк, 2004. – С. 3–21, 35–51, 68–73, 80–90, 113–140.

119. Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. Б.Н. Парсункина. – Магнитогорск : МГТУ, 2004. – С.122–123, 134–137, 226–233.

120. Пат. 2272849 Россия, МПК С22 В5/00 Способ получения металлов из рудных материалов и агрегат для его осуществления / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов. – 2004122183/02 ; заявл. 19.07.2004 ; опубл. 27.03.2006, Бюл. № 9.

121. Литейщик России. – 2005. – № 5. – С. 27–30.

122. Известия вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 2. – С. 14–16, 55–58.

123. Известия вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 6. – С. 60–65.

124. Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: сб. докл. первой междунар. науч.-практ. конф., посв. 75-летию СибГИУ. – Новокузнецк, 2005. – С.80–84, 252–261.

125. Металлургия России на рубеже XXI века: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общей ред. Е.В. Протопопова. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – Т. II. – С. 59–81.
126. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр.V всерос. науч.-практ. конф. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – С. 118–120, 295–296, 410–412.
127. Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. науч. тр. Ч. 2. – Липецк. ЛГТУ, 2005. – С.1–7.
128. Наука и молодежь: проблемы, поиск, решения: докл. науч. конф. / под ред. С.М. Кулакова. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – С. 27–32, 97–99.
129. Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии: тр. 2-ой всерос. науч.-практ. конф. / под общ. ред. С.П. Мочалова. – Новокузнецк: СибГИУ, 2006. – С.3–10, 55–57, 62–76, 94–100, 103–129, 165–185, 197–200, 224–256, 266–283, 305–309, 325–326, 335–339–353.
130. Известия вузов. Черная металлургия. – 2006. – № 4, С. 55–64.
Известия вузов. Черная металлургия. – 2006 – №8. – С. 36–40.
Известия вузов. Черная металлургия. – 2006. – № 10. – С.48–51.
131. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: учебник для вузов / В.П. Цымбал. – Кемерово – М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2006. – 431 с.
132. Металлы Евразии. – 2006. – № 6. – С. 78–90.
133. Современная металлургия начала нового тысячелетия.: науч. тр. 3 междунар. науч.-техн. конф. 31.10 – 3.11. 2006 г. –Липецк: ЛГТУ, 2006, – Ч 1. – С.41–62, 67–76, 106–111, 117–124, 137–141.
134. Математическое моделирование и комплекс программ для задач формирования и поддержания гарнисажа в металлургических агрегатах типа струйно-эмульсионного типа : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.18 : защищена 27.12.06 / А.М. Огнев. – Новокузнецк. 2006. – 143 с.
135. Электронный учебник по электротехнике для студентов не-электротехнических специальностей: учебник; Электронный учебник по физике (раздел «Механика»); Электронный учебник по вычислительной математике; Полный электронный учебник по информатике для студентов технических специальностей; Электронный учебник по высшей математике (Дифференцирование функции одной переменной).
136. Известия вузов. Черная металлургия. – 2007. – №8, – С. 58–62.
Известия вузов. Черная металлургия. – 2007. – № 10. – С. 50–53.
137. Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании: материалы XII всерос. науч.-техн. конф. студен-

тов / Рязанский радиотехнический университет. – Рязань, 2007. – С. 238–240, 263–265.

138. Современная металлургия начала нового тысячелетия.: сб. науч. тр. IV междунар. науч.-техн. конф. – Липецк, 2007. – Ч 3. – С. 22–26, 64–67, 102–110.

139. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: сб. науч. тр. VI всерос. науч. конф. – Новокузнецк, 2007. – С. 28–35, 43–45, 123–127, 229–232, 236–238, 245–249, 249–252, 295–296, 355–357, 418–422, 446–449.

140. Компьютерные учебные программы и инновации. – 2008. – № 4. – С. 65.

Компьютерные учебные программы и инновации. – 2008. – № 5. – С. 129.

Компьютерные учебные программы и инновации. – 2008. – № 3. – С. 65, 66, 106.

141. Известия вузов. Черная металлургия. – 2008. – № 6. – С. 53–57.

142. Управление отходами – основа восстановления экологического восстановления в Кузбассе : сб. докл. / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под. ред. Е.П. Волынкиной: – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2008. – С. 1–113.

143. Steel in Translation. – 2009. – Vol. 39. – No 4. – С. 310–312.

144. Известия вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 8. – С. 51–53.

Известия вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 4. – С. 44–47.

Программные продукты и системы. – 2009. – № 4. – С. 153–155.

Системы управленч и информационные технологии. – 2009. – № 2.2(36). – С. 277–280.

145. Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-15-2009): докл. 15 междунар. науч.-практ. конф., 5–7 окт. 2009г., Иркутск / отв. ред. Масленников. – Томск: САН ВШ; В-Спектр, 2009. – С. 57–60.

146. Творческое наследие Б.И. Китаева: тр. междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – С. 94–101, 232–236, 418–422.

147. Современные вопросы теории и практики обучения в вузе: сб. науч. тр. / редкол. : А.В. Феоктистов (отв. ред.) и др. ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – Вып. 9. – С. 97–104.

148. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. VII всерос. науч.-практ. конф. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – С. 26–23, 102–113, 446–449.

149. Пат. 2371482 Россия, МПК С21 В13/14. Способ прямого восстановления металлов с получением синтез-газа и агрегат для его осуществления / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, И.А. Рыбенко,

Ю.В. Цымбал. – № 2007144892/02 ; заявл. 03.12.2007 ; опубл. 27.10.2009, Бюл. № 30.

150. Математическое моделирование и комплекс программ для решения задач утилизации вторичной энергии отходящих газов металлургических агрегатов струйно-эмульсионного типа: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 : защищена 08.12.09 / А.А. Оленников. – Новокузнецк, 2009. – 140 с.

Обзор трудов графа-индекса за 2010 – 2013 годы

На рисунке 4.3 представлено изображение графа-индекса научных работ за период 2010 – 2013 годов, на котором можно видеть основные направления научной деятельности кафедры в целом и отдельных авторских коллективов в этот период. В электронном варианте представления графа-индекса планируется создать возможность полнотекстового доступа к наиболее интересным работам через обращение к соответствующему узлу графа, как это уже сделано силами студентов для узлов графа 1 – 96.

Перейдем к описанию узлов графа за 2010 – 2013 годы.

Узел 150 открывает ветвь графа, начинающуюся с 2010 года. В нем представлены работы И.А. Рыбенко совместно с М.А. Голодовой, И.Д. Рожихиной, В.И. Дмитриенко по исследованию условий восстановления ванадия.

Узел 151 – статьи С.П. Мочалова совместно с В.Д. Сарычевым, Е.А. Будовских, В.Е. Громовым по наноматериалам, моделированию и исследованию коллективных структур в металлах и сплавах при воздействии импульсных многофазных струй.

Узел 152 – статья С.П. Мочалова по проблемам развития СибГИУ.

Узел 153 – статья С.П. Мочалова совместно с А.А. Ивушкиным, К.И. Венгером и др., посвященная разработке мини-ТЭЦ на отходах углеобогащения.

Узел 154 – обобщающая статья В.П. Цымбала, С.П. Мочалова и А.А. Оленникова «От самоорганизующегося струйно-эмульсионного реактора до энергометаллургического комплекса», опубликованная несколько позже на английском языке в несколько сокращенном виде.

Узел 155 представляет пособие М.Б. Школлера «Экологическая химия», а также ответвляет еще два узла, связанных с его работами.

Узел 156 – две статьи М.Б. Школлера на английском языке, в том числе по результатам конференции в Китае, связанные с термохимическими методами агрегатирования дисперсных материалов.

Узел 157 – также две статьи М.Б. Школлера, посвященные способам окускования, а также технологии получения специальных материалов для производства электроугольных изделий.

В узле 158 сосредоточены два практикума по методам оптимизации (И.А. Рыбенко, С.П. Мочалов) и два методических указания по расчету активностей компонентов металла и шлака, автор И.А. Рыбенко.

В узле 159 представлены два методических указания А.Г. Падалко по моделированию электронных схем, одно из них издано совместно с В.И. Нурмухаметовым.

В узле 160 сосредоточены 4 работы, посвященные вопросам информатизации обучения, авторы: Л.А. Ермакова, А.Е. Шендриков, Д.Н. Климова (электронные учебники), М.Б. Малинов (дистанционное обучение), В.И. Кожемяченко совместно с В.Ю. Климовым и Л.А. Ермаковой («Корпоративная система компьютерного тестирования»).

2011 год начинается с анализа статей, представленных в сборнике трудов 3-й всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-летию кафедры ИТМ.

В узле 161 представлены обобщающие статьи В.П. Цымбала, посвященные 30-летию деятельности кафедры ИТМ, представлению научных направлений на основе графа-индекса, зарождению и развитию научной идеи (на примере создания самоорганизующегося струйно-эмульсионного реактора), а также дискуссионная статья о синергетической теории управления.

В узле 162 представлены статьи, связанные с разработкой процесса СЭР: «О создании региональной металлургии для развития восточных районов страны на основе мини-заводов опережающего научно-технического уровня» (В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, А.А. Рыбушкин, Е.В. Суздальцев), «Реализация стационарных колебательных режимов в агрегате СЭР» (В.И. Кожемяченко, И.А. Рыбенко, С.П. Мочалов, В.П. Цымбал), а также статьи А.А. Оленникова и А.Г. Падалко по моделированию структур утилизации энергии отходящих газов и созданию лабораторного комплекса для автоматизированного низкотемпературного эксперимента.

В узле 163 сосредоточены работы авторского коллектива под руководством С.П. Мочалова в следующем составе: И.А. Рыбенко, С.Н. Калашников, Л.А. Ермакова, П.С. Мочалов, направленные на создание пилотного образца автоматизированного энергогенерирующего комплекса, в том числе по математическому моделированию стационарных и динамических режимов горения суспензионного водоугольного топлива в вихревой топке, имитационное моделирование технологической схемы, теоретический анализ механизма горения суспензионного угольного топлива.



Рисунок 4.3 – Граф-индекс работ за 2010 – 2013 годы

В узле 165 сосредоточены работы по информатизации образования, авторы: В.И. Кожемяченко, Л.А.Ермакова, М.Б. Малинов, В.Ю. Климов.

Узел 166 представляет работы аспиранта М.М. Милованова по имитационному моделированию бизнес-процессов предприятия.

В узле 167 представлены работы И.А. Рыбенко, М.А. Голодовой, В.И. Дмитриенко и др. по исследованию условий процесса восстановления ванадия и железа из конвертерного ванадиевого шлака.

Узел 168 – статья В.П. Цымбала, С.П. Мочалова, В.В. Павлова, И.А. Рыбенко о нетрадиционном подходе к переработке железомарганцевых руд.

Узел 169 – статья В.Н. Буинцева об использовании математического моделирования для повышения качества рельсового проката.

В узле 170 сосредоточено 7 статей М.Б. Школлера по проблемам переработки угля.

Обзору научных трудов 2012 года посвящены узлы 171 – 182.

Узел 171 – труды авторского коллектива под руководством С.П. Мочалова, опубликованные в англоязычных изданиях по вопросам моделирования и механизмам горения водоугольного топлива (С.П. Мочалов, И.А. Рыбенко, П.С. Мочалов, С.Н. Калашников, И.А. Куксов, В.Д. Сарычев, Л.А. Ермакова).

Узел 172 – русскоязычные издания того же авторского коллектива, а также А.Е. Шендрикова, Л.П. Мышляева, А.А. Ивушкина, Н.С. Кожуховского и др.

Узел 173 – создание интерактивных 3D-моделей производственных процессов и комплексов: С.П. Мочалов, П.С. Мочалов.

Узел 174 – русскоязычная и англоязычная статьи В.П. Цымбала и С.П. Мочалова «Создание новых металлургических процессов и принципов управления на основе синергетического подхода».

Узел 175 – англоязычная и русскоязычная статьи, посвященные созданию энерго-металлургического комплекса и мини-заводов полного цикла на основе процесса и агрегата СЭР (В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, А.А. Оленников, А.М. Огнев).

Узел 176 – статьи, посвященные физическому и математическому моделированию процесса СЭР и теплоутилизирующих устройств (А.А. Оленников, А.Г. Падалко, В.П. Цымбал, В.И. Нурмухаметов, Д.А. Беловенцев).

Узел 177 – электронный учебник «Моделирование и оптимизация технологических процессов» (В.П. Цымбал, Д.П. Шуварики, З.В. Гродина).

Узел 178. Здесь сосредоточены четыре электронных учебника, выполненные сотрудниками нашей кафедры М.М. Миловановым,

А.Е. Шендриковым, М.Б. Малиновым в соавторстве с работниками других кафедр.

Узел 179. Методические указания В.И. Кожемяченко, С.Ю. Красноперова, а также А.Г. Падалко совместно с К.В. Мальцевой.

Узел 180. Исследование процесса восстановления ванадия и железа (М.А. Голодова, В.И. Дмитриенко, И.Д. Рожихина, И.А. Рыбенко).

Узел 181. Монография М.Б. Школлера и др. «Современные энергOMETаллургические процессы глубокой переработки твердых топлив, а также его статьи с соавторами Е.В. Протопоповым, А.Б. Юрьевым, Л.А. Ганзер, С.П. Мочаловым, А.А. Ивушкиным по вопросам получения синтетического топлива в технологическом цикле кокс – чугуна – сталь».

Узел 182. Статья аспиранта Н.Н. Васильева совместно с С.Н. Калашниковым на тему «Имитационное моделирование локальных вычислительных сетей на основе проблемно-ориентированного комплекса программ».

Далее начинается обзор научных трудов 2013 года.

Узел 183 включает три статьи авторского коллектива: С.П. Мочалов, И.А. Куксов, В.Д. Сырачев, С.Н. Калашников, И.А. Рыбенко, П.С. Мочалов, посвященные моделированию газодинамики процесса горения топлива в энергогенерирующем комплексе, а также оптимизации статических режимов.

Узел 184 включает четыре статьи, посвященные разработке 3D-моделей и программных приложений создания виртуальных сред, авторы С.П. Мочалов и П.С. Мочалов.

Узел 185 включает три статьи: В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, К.М. Шакиров «Управление химсоставом металла в агрегате СЭР путем создания пространственных диссипативных структур» и статьи А.А. Оленникова, А.Г. Падалко и студента В.Н. Нурмухаметова, посвященные созданию автоматизированной установки физического моделирования, а также моделированию схем энергоутилизации.

Узел 186 включает свидетельство о регистрации программного комплекса SKV_SAPR, авторы А.А. Оленников, В.П. Цымбал, а также «Системы мониторинга электронного обучения», автор М.Б. Малинов.

Узел 187 включает статью В.П. Цымбала «Мини-металлургия полного цикла для развития восточных районов страны», а также близкую по содержанию англоязычную статью в журнале «Cis Iron und Seel Review», соавторы С.П. Мочалов, А.А. Оленников, А.М. Огнев.

Узел 188. Здесь сосредоточены работы, посвященные проблемам электронного обучения и дистанционных технологий в образовательном процессе вуза, авторы: М.Б. Малинов, С.П. Мочалов, В.С. Третьяков, Л.А. Ермакова, Л.Д. Павлова.

Узел 189. Три статьи М.Б. Школлера, Е.В. Протопопова, Л.А. Ганзер, посвященные использованию вторичных ресурсов для получения синтез-газа, получения новых связующих и химического сырья из угля.

Узел 190. Статьи В.Н. Буинцева и Н.В. Буинцевой, посвященные исследованию на модели влиянию химсостава на качество рельсов, а также вопросам профильного обучения.

Узел 191. Методические указания И.А. Рыбенко, В.Н. Буинцева, а также Л.А. Ермковой.

Узел 192. В этом узле сосредоточены работы магистрантов С.С. Грисман и О.А. Маломыжевой, выполненные под руководством А.Г. Падалко, а также А.А. Кочкина, под руководством С.Н. Калашникова.

Узел 193. Электронный учебник В.П. Цымбала, П.А. Сеченова «Введение в теорию самоорганизации».

Навигация трудов, представленных в узлах графа-индекса за 2010 – 2013 годы

150. Steel in Translation. – 2010. – Т.40. – № 4. – С. 310–313.

Известия вузов. Черная металлургия. – 2010. – №4. – С. 7–11.

Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (Сибресурс-15-2009): сб. докл. 15 междунар. науч.-практ. конф. – Томск, 2010. – С. 57–59.

Известия вузов. Черная металлургия. – 2010. – 10. – С. 17– 20.

151. Известия вузов. Черная металлургия. – 2010. – № 6. – С. 44–49.

Известия вузов. Черная металлургия. – 2010. – № 8. – С. 57.

Steel in Translation. – 2010. – Т.40 № 6. – С. 531–536.

152. Черные металлы. – 2010. – №5. – С. 9–15.

Известия вузов. Черная металлургия. – 2010. – № 6. – С. 3–8.

Известия вузов. Черная металлургия. – 2010. – № 10. – С. 53.

153. Уголь. – 2010. – №12 (1016). – С. 67–68.

154. Черные металлы. – 2010. – № 5. – С. 9–16.

155. М.Б. Школлер. – Томск: НИ ТПУ, 2010. – 252 с.

156. Coke and Chemistry. – 2010. – № 3 March. – С. 90–93.

1st Annual World Congress of Catalytic Asymmetric Synthesis: may 19 – 21. – Beijing, China, 2010. – С. 1.

157. Энергетика в глобальном мире: междунар. науч.-техн. конгресс, 16 – 18 июня 2010г. – Красноярск, 2010. – С. 246–249.

158. Практикумы по решению задач одномерной и многомерной оптимизации, а так же по расчету активностей компонентов: метод. указ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2010. – 30 с.

159. Моделирование работы последовательных устройств в среде ELECTRONICS WORKBENCH, а так же Синтез многовыходных электронных схем: метод. указ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2010. – 20 с.

160. Современные вопросы теории и практики обучения в вузе: сб. науч. тр. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2010. – Вып. 11. – С. 60–69, 137–148.

161. Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии: тр. 3-й всерос. науч.-практ. конф., посвященной 30-летию кафедры ИТМ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 5–22, 37–46, 95–112.

162. Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии: тр. 3-й всерос. науч.-практ. конф., посвященной 30-летию кафедры ИТМ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 47–54, 339–346, 275–286.

Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. VIII всерос. науч.-практ. конф. / под ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 19–26, 522–526.

163. Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии: тр. 3-й всерос. науч.-практ. конф., посвященной 30-летию кафедры ИТМ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 65–74, 123–130, 149–153, 267–274, 527–529.

164. Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии: тр. 3-й всерос. науч.-практ. конф., посвященной 30-летию кафедры ИТМ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 215–221, 240–246, 347–355.

Методы минимизации функций алгебры логики. Комбинационные устройства цифровой автоматики: метод. указ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – 20 с.: ил.

165. Современные вопросы теории и практики обучения в вузе: сб. науч. тр. / редкол.: А.В. Феоктистов (отв. ред.) и др. / Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: СибГИУ, 2011. – Вып. 13. – С. 170–177.

Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии: тр. 3-й всерос. науч.-практ. конф., посвященной 30-летию кафедры ИТМ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 165–171, 258–261.

Малинов М.Б. Настройка параметров сетевого соединения в ОС Microsoft Windows: метод. указ. / М.Б. Малинов. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – 22 с.

166. Металлургия: Технологии, управление, качество: сб. науч. тр. всерос. науч.-практ. конф. 9 – 11 ноября 2011г. / под ред. Е.В. Протопова. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 299–302.

Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии: тр. 3-й всерос. науч.-практ. конф., посвященной 30-летию кафедры ИТМ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 262–266.

Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. VIII всерос. науч.-практ. конф. / под редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 472–475.

Информационные технологии в экономике, образовании и бизнес: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2011. – С. 120–124.

Электронный журнал. Управление экономическими системами. Режим доступа – <http://uecs.ru/>. – 2011. – С. 1–6.

167. Известия вузов. Черная металлургия. – 2011. – № 4. – С. 3–5.

Металлургия: Технологии, управление, качество: сб. науч. тр. всерос. науч.-практ. конф. 9 – 11 ноября 2011 г. / под ред. Е.В. Протопопова. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 95–98.

168. Металлургия: Технологии, управление, качество: сб. науч. тр. всерос. науч.-практ. конф. 9 – 11 ноября 2011 г. / под ред. Е.В. Протопопова. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С. 139–145.

169. Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии: тр. 3-й всерос. науч.-практ. конф., посвященной 30-летию кафедры ИТМ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. – С.287–291.

170. Metallurgist. – 2011. – vol. 55. – С.85– 91.

Metallurgist. – 2011. – vol. 55. – С. 143–148.

Международный симпозиум «Углекислотная химия и экология Кузбасса»: тр. науч. конф. – 2011. – С. 26

Металлург. – 2011. – № 2. – С. 33–38.

Металлург. – 2011. – № 2. – С. 1

Металлург. – 2011. – № 3. – С. 1.

Эксперт Сибири. – 2011. – № 15 – 16. – С. 1–3.

171. Steel in Translation. – 2012. – Т. 42. – № 8. – С. 611–613.

Steel in Translation. – 2012. – Т.42. – № 8. – С. 620–623.

Applied Mechanics and Materials. – 2012. – 241–244, С. 1271–1277.

World Applied Sciences Journal. – 2012. – № 19 (1). – С. 100–105.

Steel in Translation. – 2012. – Т.42. – № 10. – С. 695–698.

World Applied Sciences Journal. – 2012. – № 19 (1). – С.83–87.

World Applied Sciences Journal. – 2012. – № 19 (1). – С. 20–25.

172. Уголь. – 2012. – № 10. – С. 32–34, 45–54.

Вестник КемГУ. – 2012. – № 4 (52) Т.2. – С. 152–156.

Сборник научных трудов Sworld. – 2012. – Т. 5. – № 3. – С.84–88.

Известия вузов. Черная металлургия. – 2012. – № 8. – С. 6–9, 39–42.

Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2012. – № 1. – С. 37–40, С. 52–57.

Вестник КемГУ. – 2012. – № 4 (52). – Т.2. – С. 163–168.

Цветные металлы. – 2012. – С. 1.

Известия вузов. Черная металлургия. – 2012. – № 10. – С. 3–6.

173. Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания: тр. XIII молодежной междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2012. – С. 1.

Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. – 2012. – № 13. – С. 77–81.

174. Steel in Translation. – 2012. – Т 42. – № 2. – С. 126–130.

Известия вузов. Черная металлургия. – 2012. – № 2. – С. 64–69.

175. CIS Iron and Steel Revie. – 2012. – № 1. – С. 13–15.

Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия промышленных регионов России: сб. докл. IV междунар. науч.-практ. конф. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – С. 161–168.

176. Теория и практика тепловых процессов в металлургии: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. 18 – 21 сент. 2012 г. – Екатеринбург, 2012. – С. 253–257, 310–315.

Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия промышленных регионов России: сб. докл. IV междунар. науч.-практ. конф. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – С. 89–94.

177. Цымбал В.П. [Электронный ресурс] / В.П. Цымбал, Д.П. Шуварики, З.В. Гродина; – Электрон. дан. – Новокузнецк: СибГИУ, 2012. – 200 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – № гос. регистрации 0321203304.

178. [Электронный ресурс] Электрон. дан. – Новокузнецк: СибГИУ, 2012. – 200 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – № гос. регистрации 0321201136, № гос. регистрации 0321201137, № гос. регистрации 0321201138, № гос. регистрации 0321201139.

179. Программирование в среде Visual C#. Ч. 1: метод. указ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – 31 с.

Программирование в среде Visual C#. Ч. 2 : метод. указ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – 54 с.

Арифметические устройства ЭВМ: метод. указ. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – 25 с.

180. Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (сиб-ресурс 17–2012): докл. 17 междунар. науч.-практ. конф. – Томск, 2012. – С. 57–60.

181. Школлер М.Б. Современные энерготехнологические процессы глубокой переработки твердых топлив. / М.Б. Школлер, М.И. Дьяков, С.П. Субботин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2012. – 248 с.

Steel in Translation. – 2012. – vol. 42. – С.312–315.

Steel in Translation. – 2012. – vol. 42. – С. 811–813.

Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия промышленных регионов России: сб. докл. IV междунар. науч.-практ. конф. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – С. 232–238.

Известия вузов. Черная металлургия. – 2012. – № 12. – С. 27–30.

вузов. Черная металлургия. – 2012. – № 4. – С. 37–40.

Пат. 2012126773/05(041370) РФ. Комплекс оборудования химического блока коксохимического предприятия / М.Б. Школлер, С.П. Мочалов, А.А. Ивушкин. – № 2012126773/05(041370) ; заявл. 26.6.2012 ; приоритет 26.06.2012. – 1 с.

182. Исследования молодых – регионам: сб. тр. II всерос. науч.-практ. конф. школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках фестиваля научной мысли «Регионы России». – Томск: Изд. ТПУ, 2012. – Том 2. – С. 161–164.

183. Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Т. 241 – 244. – С. 1271–1277.

Journal of thermal science. – 2013. – vol. 22. – № 2. – С. 174–179.

Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: тр. XVII всерос. науч.-практ. конф. / под ред. Е.В. Протопопова ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 29–32.

184. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. IX всерос. науч.-практ. конф. 28 – 30 ноября 2013 г. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 125–129, 307–311.

Уголь России и майнинг: XX юбилейная междунар. специализированная выставка технологий горных разработок. 4 – 7 июня. – Новокузнецк, 2013. – С. 1–5.

Новые образовательные технологии в вузе: тр. X междунар. науч.-метод. конф. – Екатеринбург, 2013. – С. 1–5.

185. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. IX всерос. науч.-практ. конф. 28 – 30 ноября 2013 г. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 46–52, 170–175, 271–277.

186. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № гос. регистрации 2013661507 от 10.12.2013, № гос. регистрации 2013660236 от 29.10.2013.

187. CIS Iron and Steel Review . – 2013. – С. 83–91

Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: тр. XVII всерос. науч.-практ. конф. / под ред. Е.В. Протопопова ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 45–50.

188. Оценка качества электронного обучения и дистанционных образовательных технологий: учеб. пособие / Электрон. издание. – Новокузнецк: СибГИУ, 2013. – 350 с.

Состояние и перспективы развития высшего образования в современном мире: материалы докл. междунар. науч.-практ. конф. 10 – 11 сентября 2013 г. / под ред. академика РАО Г.А. Берулавы. – Сочи: ФГНУ ИОТ РАО, 2013. – С. 147–150.

Проблемы современного образования: материалы IV междунар. науч.-практ. конф. 10 – 11 сентября 2013 г. – Прага, Vedecko vydavatel'ske centrum «Sociosfera-CZ», 2013. – С. 74–76

Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. IX всерос. науч.-практ. конф. 28 – 30 ноября 2013 г. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 259–263.

Единая информационно-образовательная среда: на пути к глобальному образованию: сб. материалов XII междунар. науч.-практ. конф. 26 – 27 сентября 2013 г. – Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2013. – С. 17–20.

Вестник КемГУ. – 2013. – № 4 (56). – С. 45–48.

Современные образовательные технологии: опыт, реализация, перспективы: тр. междунар. науч.-практ. конф. 28 – 29 ноября 2013 г. – Белгород: БГТУ, 2013. – С. 100–107.

Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 1.

Открытое и дистанционное образование. – 2013. – № 4 (52). – С. 10–13.

189. Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Энергосбережение. Экология. Новые технологии: материалы X всерос. науч.-практ. конф. с международным участием, 26 – 27 ноября 2013 г. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2013. – С. 104–108, 131–133.

190. Metallurgy: technologies, management, innovations, quality: тр. XVII всерос. науч.-практ. конф. / под ред. Е.В. Протопопова ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 107–109.

Теория и практика педагогической науки в современном мире: традиции, проблемы, инновации.: материалы IV междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1.-Новокузнецк: ред.-изд. отдел КузГПА, 2013. – С. 264.

191. Построение математической модели объекта с использованием дробного факторного эксперимента: метод. указ. / И.А. Рыбенко, В.Н. Буинцев. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – 16 с.

Графический анализ данных в MS Excel: метод. указ. / Л.А. Ермакова. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – 34 с.

192. Metallurgy: technologies, management, innovations, quality: тр. XVII всерос. науч.-практ. конф. / под ред. Е.В. Протопопова ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 355–359, 363–370.

193. Цымбал В.П., Введение в теорию самоорганизации: электронный учебник / В. П. Цымбал, П.А. Сеченов. – № гос. регистрации 0321304257. – Новокузнецк: ФГБОУ ВПО СибГИУ, 2013.

5 ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНИКИ И ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ

Научный коллектив с самого начала своего формирования исповедовал принцип тесного единства науки и учебного процесса. Начало 80-х годов совпало с ускорением процесса смены поколений ЭВМ на микросхемах Intel (каждые два года). Стали появляться достаточно надежные управляющие ЭВМ, но для их эффективного применения необходимо было создавать прикладное математическое и программное обеспечение. Особенно большой разрыв между возросшими возможностями ЭВМ и недостаточной эффективностью их использования наблюдался в металлургии.

Коллектив образовавшейся в 1981 году кафедры поставил задачу: подготовить специалистов нового плана (проблемных программистов), одновременно владеющих методами исследования и математического описания объектов и программирования для ЭВМ.

В результате по согласованию с Министерством черной металлургии СССР по специальному приказу Министерства высшего образования РСФСР была в опытном порядке создана новая специализация: «Математическое обеспечение и ЭВМ в металлургии», которая после 20-летнего педагогического эксперимента переросла в специальность «Информационные системы и технологии (по отраслям)».

Кафедра начала выпускать таких специалистов первой не только в регионе, но и в стране, наш опыт затем был воспринят другими кафедрами. Вследствие этого в период с 1986 по 2005 годы выпускники кафедры ЭВМ заняли преимущественные позиции в подразделениях многих предприятий, так или иначе связанных с информационными технологиями. В настоящее время в Новокузнецке многие выпускники кафедры стали руководителями предприятий и подразделений по информационным технологиям и частных фирм, а также бизнесменами.

Следует отметить наиболее выдающихся специалистов промышленности и бизнеса:

1. Иванов В.С. – директор по развитию ОАО «Сибсвязь».
2. Кузяк С.Н. – заместитель директора по экономике и финансам ООО «Южнокузбасская энергетическая компания».
3. Кукуев О.Ю. – начальник отдела разработки программного обеспечения ООО «ЕвразТехника».
4. Огнев А.М. – к.т.н., главный конструктор АСУ фирмы СЭТ – АСК (Сибэлектротерм – Автоматизированные системы и комплексы), г. Новосибирск.
5. Ратников Е.А. – директор по развитию группы компаний «Техносистема».

6. Ускова О.М. – начальник отдела электронных карт Новокузнецкого муниципального банка.

7. Шарапов А.П. – начальник управления кредитными ресурсами Кузнецкбизнесбанка.

8. Шипилов А.С. – магистр техники и технологий, начальник отдела разработки и внедрения систем управления производством Сибирского банка Сбербанка РФ, г. Новосибирск.

9. Чикин Я.А. – начальник центра эксплуатации «Сибирь» ООО «ЕвразТехника».

10. Штайгер А.Ф. – к.т.н., главный инженер проектов ЗАО «Ай-СиТи. Автоматизация».

11. Рыбенко К.И. – магистр науки по специальности «Компьютерная логика», научный сотрудник кафедры строительной информатики Дрезденского технического университета, международный мастер по шахматам.

12. Шарапов Б. Н. – в течение ряда лет был руководителем управления и отдела разработки программного обеспечения ООО «Евразтехника», в настоящее время руководитель одного из подразделений управления информационных технологий СибГИУ.

Следует отметить, что в развитии процесса информатизации в университете коллектив кафедры все эти годы играл и продолжает играть важную роль. Большинство сотрудников управления информатизации и ряда других подразделений, связанных с информатизацией университета, являются выпускниками кафедры ИТМ: А.Е. Шендриков, Д.П. Шуварики, И.А. Куксов, М.Б. Малинов, С.А. Загребин, З.И. Порядина, А.В. Лысков, А.И. Имнадзе, С.В. Серeda, Н.В. Коваленко, Л.А. Ермакова, М.М. Милованов.

Отметив, таким образом, образовательное направление деятельности творческого коллектива, остановимся на основных результатах его научной деятельности.

Ядро научного коллектива, зародившееся еще в рамках кафедры автоматизации – В.П. Цымбал, В.Н. Буинцев, А.Ф. Сакун, А.Г. Падалко, Н.А. Калиногорский, несколько позже С.П. Мочалов, – одним из первых в стране начало создавать математические модели металлургических процессов, а затем тренажеры и обучающие системы на их основе. По этим направлениям творческий коллектив занял ведущие позиции в стране, что было, кстати, отмечено руководителем экспертной группы по итогам одной из аттестаций Университета.

По этому направлению защитили кандидатские диссертации: В.Н. Буинцев, А.Ф. Сакун, А.Г. Падалко, Н.А. Калиногорский, С.П. Мочалов, С.А. Шипилов, Н.И. Ливерц, Е.И. Ливерц, С.Н. Калашников.

В 1985 – 1986 годах профессором В.П. Цымбалом впервые в мировой металлургии было создано новое научное направление «Математические модели и новые технологические процессы на основе механизмов самоорганизации», которое позднее в содружестве с С.П. Мочаловым превратилось в более широкое направление: «Математическое моделирование, создание прикладных инструментальных систем и новых металлургических процессов на принципах самоорганизации».

По этому научному направлению защитили докторские диссертации – С.П. Мочалов и С.Н. Калашников, кандидатские диссертации – В.И. Кожемяченко, И.А. Рыбенко, С.Н. Красноперов, Л.А. Ермакова, А.М. Огнев, А.А. Оленников.

В последние годы география распространения выпускников кафедры расширилась, многие из них работают в различных городах России (Новосибирск, Москва, Санкт-Петербург, Воронеж и др.), а также других странах: США, Канада, Австралия, Германия, продолжают обучение в магистратуре в США, Канаде, Германии.

Например, Александр Волынкин, закончил магистратуру, аспирантуру и защитил в Бингхамтонском университете докторскую диссертацию, получил звание доктора философии, специальность «Электроинжиниринг» и большой грант на организацию лаборатории.

В заключение коротко следует отметить наиболее важные результаты деятельности творческого коллектива.

1. Создана новая для металлургии и других технологий специальность проблемных программистов, а на ее основе – образовательная технология замкнутых автоматизированных систем с самообучением, отличающаяся широким использованием математического моделирования и ЭВМ в учебном процессе.

2. Созданы математические модели для ряда существующих металлургических процессов, а также для принципиально нового металлургического процесса.

3. Впервые в металлургии созданы тренажеры «Сталевар», «Конверторщик» и др., а затем на их основе – программы автоматизированных обучающих систем для ЭВМ. В последние годы коллективом создан ряд электронных учебников с тренажерными практикумами для интерактивного обучения, на что сейчас обращено особое внимание Министерства образования и науки.

4. Разработан целый ряд программно-инструментальных систем для моделирования и инженерных расчетов.

5. Впервые в мировой металлургии создана концепция и комплекс моделей принципиально нового металлургического процесса и агрегата с элементами самоорганизации, отличающегося на порядок меньшим удельным объемом и в полтора раза меньшими энергозатратами.

6. Совместно с проектировщиками и специалистами Запсибметкомбината создана крупномасштабная опытная установка процесса и агрегата СЭР, на которой подтверждена правильность в целом выдвинутой концепции, отработаны основные конструктивные моменты, показана практическая реализуемость новых разработанных технологий.

7. Предложена структура мини-заводов полного металлургического цикла: руда (отходы) – сталь, в том числе в мобильном исполнении, что позволит ускорить освоение новых рудных месторождений в Восточных районах страны.

8. В апреле 2014 года на экспертном совете по инновациям при главе города Новокузнецка было принято решение рекомендовать рассмотренный проект пилотного мини-модуля СЭР для инвесторов с поддержкой руководства города, реализация которого позволит снизить негативные последствия деградации традиционной металлургии в Новокузнецке.

9. С активным участием коллектива научной школы в 2011 – 2013 годах выполнен большой грант по линии государственно-частного предпринимательства, позволивший университету выполнить одни из важных показателей эффективности вуза.

10. Научно-педагогический коллектив кафедры в течение многих лет, начиная с 1980 года, стоял у истоков информатизации университета, а в настоящее время большинство сотрудников управления информатизации являются выпускниками кафедры ИТМ.

Коллектив кафедры является лидером по вопросам разработки тренажерно-обучающих систем, электронных учебников и объектно-ориентированных систем программирования.

11. На кафедре существует с 1986 года и поддерживается в течение многих лет хорошая традиция ежегодных встреч выпускников всех лет с обучающимися студентами. Это, с одной стороны, позволяет кафедре иметь неформальную обратную связь по вопросам качества обучения, с другой стороны – облегчает решение вопросов трудоустройства выпускников, через помощь старших товарищей младшим. Благодаря этому за все время существования кафедры в управление занятости обратилось всего два выпускника.

Хочется надеяться, что столь большой научный и педагогический потенциал коллектива кафедры и в дальнейшем будет востребован в университете.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Учебные пособия и монографии

УДК 669: 681.513.8(075)

Цымбал В. П. **Введение в теорию самоорганизации с примерами из металлургии:** учеб. пособие. / В.П. Цымбал. – Изд. 2-е. стер. – Новокузнецк: СибГИУ, 2001. – 251 с.

ISBN 5-7806-0025-2.

Рассмотрены основные понятия теории самоорганизации: открытая система, диссипативная структура, уровни отклонения систем от термодинамического равновесия, условия и критерии перехода на более высокий уровень диссипативных структур. При анализе механизмов самоорганизации основное внимание уделено соотношению хаоса и порядка, роли колебательных процессов, неравновесности и флуктуации. Приведены примеры явлений самоорганизации в живой и неживой природе, в том числе в традиционных и вновь разработанных металлургических процессах.

Предназначено для студентов и аспирантов металлургических и других смежных специальностей.

УДК 681.5.015:530.1(075)

Цымбал В.П. **Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях в 3 ч. Ч. I. Термодинамический подход к самоорганизации:** учеб. пособие / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников ; под ред. В.П. Цымбала. – Новокузнецк: СибГИУ, 2004. – 180 с.

Рассмотрены основные идеи и принципы самоорганизации сложных систем, модели равновесной термодинамики, а также модели слабо неравновесных необратимых процессов и текущего равновесия, критерий эволюции и S-теорема Климонтовичи. Значительное внимание уделено макротермодинамическому подходу и структурной стабилизации. Учебное пособие предназначено для подготовки дипломированных специалистов, магистров и аспирантов металлургического и других технологических направлений, может быть также полезно для широкого круга исследователей, интересующихся проблемами синергетики и самоорганизации сложных систем.

УДК 681.5.015:530.1(075)

В.П.Цымбал **Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. В 3-х.: Ч. II. Формальное описание эволюции и самоорганизации:** учеб. пособие / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников ; под ред. В.П. Цымбала. – Новокузнецк: СибГИУ, 2004. – 298 с.

Дается системное изложение основных представлений, подходов и моделей, ставших характерными и по существу классическими для этого научного направления. Рассматриваются детерминированные модели эволюции в виде нелинейных дифференциальных уравнений, модели Ланжевена и Фоккера – Планка, в которых важную роль играет стохастическая составляющая, модели с химическими реакциями и локализованные диссипативные структуры.

Большое внимание уделено анализу устойчивости, а также моделям осцилляций и флуктуаций, обуславливающих выход системы на критическое поведение. Ряд разделов заканчивается достаточно наглядными, доведенными до программной реализации примерами моделей, имеющих отношение к металлургии и другим отраслям народного хозяйства. Предназначено для студентов, магистрантов и аспирантов обучающихся по направлению «Металлургия» и другим смежным направлениям.

УДК 681.5.015:530.1(075)

В.П.Цымбал Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. В 3-х.: Ч. III. Примеры реализации идей и принципов синергетики: учеб. пособие / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников ; под ред. В.П. Цымбала. – Новокузнецк: СибГИУ, 2004. –264 с.

В качестве конкретных примеров самоорганизации в природе, технике и технологиях рассматриваются режимы с обострением при нелинейной теплопроводности, аномальные явления самоорганизации в существующих сталеплавильных агрегатах, интересные примеры самоорганизации в материаловедении, рыночной экономике, модели популяций и связанные с ними экологические проблемы, математические модели и механизмы самоорганизации на примере нового непрерывного металлургического процесса и агрегата типа самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор. Значительное внимание уделено подходам к управлению синергетическими объектами, параметрам порядка и принципу подчиненности, а также синергетическому подходу к переработке информации и обучению. Предназначено для студентов, магистрантов и аспирантов обучающихся по направлению «Металлургия» и другим смежным направлениям.

УДК 669.02.001.57(07)

Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: учебник для вузов / В.П. Цымбал. – Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2006. – 431 с.

Рассматриваются вопросы методологии математического моделирования, прямой аналогии и подобия сложных систем, использования физических законов и экспериментально-статистических методов, структурной и параметрической идентификации, применения современных программно-инструментальных средств моделирования. Приведены примеры построения моделей доменного и сталеплавильных процессов, прямого твердофазного и жидкофазного восстановления, нового синергетического струйно-эмульсионного процесса, а также моделей на основе термодинамических аналогий в экономике и экологии.

Учебник предназначен для магистров и инженеров направления «Металлургия», и может быть полезен студентам и аспирантам энергетических, химико-технологических, управленческих факультетов и вузов.

УДК 669.02.001

Металлургический струйно-эмульсионный реактор / под ред. В.П. Цымбала. – М.: «Металлургиздат», 2014. – 478 с.

Коллектив авторов В.П. Цымбал, д-р техн. наук; С.П. Мочалов, д-р техн. наук; И.А. Рыбенко, канд. техн. наук; Р.С. Айзатулов, д-р техн. наук;

В.В. Соколов, канд. техн. наук; А.Г. Падалко, канд. техн. наук; В.И. Кожемяченко, канд. техн. наук; С.Ю. Красноперов, канд. техн. наук; К.М. Шакиров, д-р техн. наук; С.Н. Калашников, д-р техн. наук; Л.А. Ермакова, канд. техн. наук; А.А. Оленников, канд. техн. наук; С.В. Щипанов, инженер; А.А. Рыбушкин, инженер; Е.В. Суздальцев, инженер.

Монография посвящена теории, математическому описанию, экспериментальной проверке и проектированию нового металлургического процесса и агрегата СЭР – самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор. Рассматривается синергетический подход к управлению процессами и проектированию новых металлургических агрегатов. Реализация принципов большого отклонения от термодинамического равновесия, наименьшего принуждения, круговой подчиненности в сочетании с рядом физических эффектов: газодинамическое запирание соединительных каналов при критическом истечении двухфазной среды, диспергация пылевидной шихты встречными струями, создание вынужденного движения и использование работы расширения химических реакций для создания внутреннего транспорта рабочей смеси через все элементы агрегата и теплоутилизирующие устройства позволили получить существенные преимущества перед известными процессами: уменьшение удельного объема агрегата на порядок, капитальных затрат в 2 – 3 раза, энергоемкости в полтора раза.

Представлены результаты экспериментальной проверки на крупномасштабной опытной установке на ЗСМК, показана реализуемость нескольких вариантов технологий: прямое восстановление конвертерных шламов и омазученной окалины; переработка мокрых пылевидных руд на примере Бакчарского месторождения; безотходная переработка титано-магнетитовых руд, а также пылевидных железо-марганцевых; прямое восстановление с одновременным превращением дымовых газов в кондиционный синтез-газ.

Показана возможность создания системы глубокого использования энергии исходного топлива, переработки пылевидных отходов, а также изменения громоздкой структуры традиционной металлургии путем создания мини-заводов полного цикла: руда-сталь.

Монография может представлять интерес для работников и инвесторов металлургической промышленности и энергетики, а также использоваться в качестве учебного пособия для преподавателей и студентов технических, энергетических и управленческих специальностей.

Наиболее интересные статьи

Цымбал В.П. Процесс СЭР позволяет получить прямым восстановлением из пылевидных материалов и отходов не только чугун, но и сталь / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, К.М. Шакиров ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк.

Теоретические основы нового струйно-эмульсионного процесса и агрегата (СЭР) начали разрабатываться в 1985 – 88 годах.

Важную роль в новизне разработки сыграли идеи теории самоорганизации (синергетики), которые наша творческая группа начала изучать в то время. Возникла мысль создать новый металлургический процесс с использованием некоторых принципов этой теории. Такой подход оказался плодотворным. Использование этих идей позволило раскрепостить мышление и отойти от установившихся представлений, приведших к громоздкой многозвенной структуре традиционной металлургии, и создать процесс, имеющий существенные преимущества перед известными. В качестве аналогов были использованы процессы БИСРА и Корекс, а в качестве прототипа для первой заявки [1] был взят патент французской фирмы ИРСИД.

Получился, в какой-то мере, сжатый и совмещенный в объеме (в 10 – 15 раз) Корекс, что оказалось возможным благодаря использованию некоторых принципов теории самоорганизации [2,3] (отклонение от термодинамического равновесия, наименьшее принуждение, круговая подчиненность, колебательный стационар и др.) в сочетании с рядом физических эффектов (диспергация встречными струями, газодинамическое запираание соединительного канала за счет критического истечения двухфазовой среды [4], нижняя подача рабочей смеси вертикальный колонный реактор и др.).

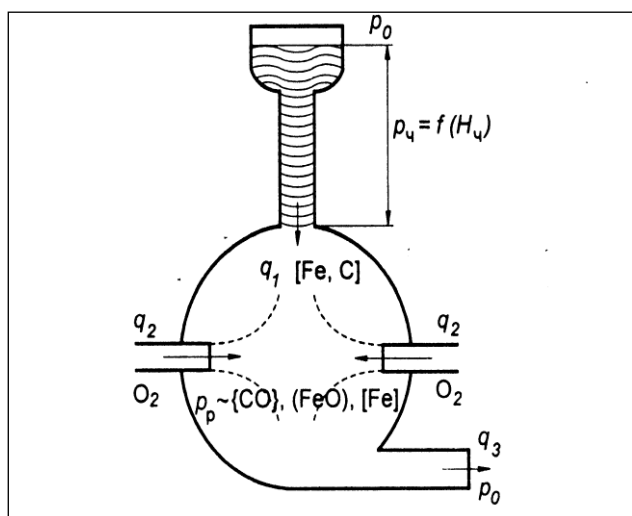
Конструктивно это вылилось в следующие решения [5].

Создан реактор-осциллятор рисунке 1, в котором реализована внутренняя обратная связь за счет критического истечения двухфазной среды [6] и влияния давления (по принципу Ле-Шателье-Брауна) на протекании химических реакций с газовой выделением, что приводит к изменению объемного газосодержания

в реакторе $\alpha_G = \frac{V_G}{V_G + V_{KФ}}$, где V_G – объем газа, $V_{KФ}$ – объем конденсированной фазы, а затем к изменению скорости истечения двухфазной среды в соединительном канале. Процесс как бы «бежит» по правой ветви нелинейной зависимости скорости звука C от газосодержания α_G , представленной на рисунке 2.

В результате получена возможность создания стационарного колебательного режима на любом заданном уровне давления. Таким образом, на основе реактора-осциллятора был создан побудитель расхода (своеобразный карбюратор-компрессор), с помощью которого (в сочетании с переводом процесса в область газозвеси и эмульсии) оказалось возможным создать внутренний транспорт рабочей смеси через все элементы агрегата, в том числе через теплоутилизирующие устройства (котел-утилизатор, газовая турбина, кипящий слой, ре-

форматор дыма в синтез-газ). Это позволяет создать условия для глубокого использования энергии исходного топлива.



p_0 , p_p , p_q – соответственно давление атмосферное, в реакторе и столба шихты; q_1 , q_2 , q_3 – потоки шихты, кислорода и истекающей из реактора двухфазной среды

Рисунок 1 – Реактор-осциллятор

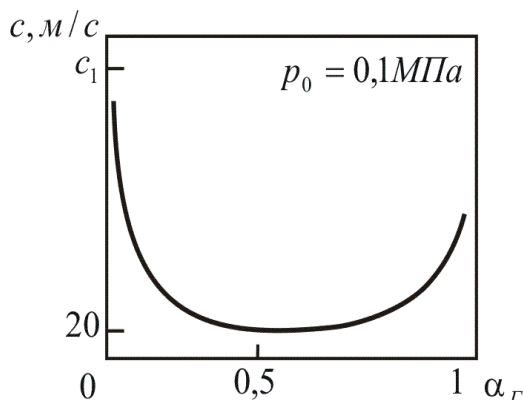


Рисунок 2. – Зависимость скорости звука в водовоздушной смеси от газосодержания

Благодаря нижней подаче (рисунок 3) подготовленной в реакторе-осцилляторе 8 рабочей смеси в вертикальной колонный реактор 12, создана динамическая диссипативная структура, представляющая собой самоорганизующийся сепаратор газа, шлака и металла.

В этом реакторе сказалось возможным получить нелинейное (параболическое) распределение плотности, а следовательно, и концентрации рабочей смеси, то есть, например, большое содержание оксидов железа внизу (на границе металла-шлак) и низкое сверху (на выбросе в шлакоприемник).

Повышенное давление и изоляция процесса от атмосферы позволили полностью использовать также энергию расширения рабочей смеси (4,31 Дж/моль), то есть «джин загнан в бутылку», что позволило заставить работать реакцию смесь в нужном режиме и совершать самые различные технологические операции, благодаря чему агрегат обладает определенной степенью универсальности.

А.М. Бигеев вложивший большой вклад в разработку непрерывного сталеплавильного процесса [7,8], важным и необходимым преимуществом такого процесса, наряду с отсутствием промежуточных потерь энергии и сырья, считал наличие отдельных камер (зон) для реализации необходимых технологических операций (обезуглероживание, обессеривания, обесфосфоривания и др.). Однако, в то время, в связи протеканием процесса близко к состоянию равновесия и, как следствие, низкими скоростями химических реакций, эти камеры получались достаточно громоздкими, а агрегат в целом капиталоемким.

Благодаря переходу в область газозвеси и эмульсии, а также реализации описанных выше принципов удалось создать (вместо физически реализуемых камер) определенные зоны в виде динамических диссипативных структур, которые существуют только на момент протекания процесса в определенном режиме. Задача десульфурации решается за счет наличия огромной реакционной поверхности на газовых пузырьках, а задача дефосфорации может решаться за счет управления гранулометрическим составом шихтовых материалов, подаваемых на границу металл-шлак. На задаче управления содержанием углерода остановимся несколько ниже отдельно.

Все это позволило резко увеличить скорость процесса и уменьшить удельный объем агрегата, а также капитальные затраты, которые в 2 – 3 раза меньше, чем у известных процессов.

Окончательная доводка металла может осуществляться в установленной за агрегатом СЭР индукционной печи, которая имеет высокий тепловой КПД именно в режиме обработки жидкого металла. Копильник агрегата СЭР также имеет индукционный подогрев, что существенно повышает гибкость управления тепловым режимом, создает условия для оптимизации энергозатрат, за счет целенаправленного температурного воздействия на металл.

За последние 20 – 25 лет в мире построено или находится в стадии создания более 100 установок прямого восстановления, но ни в одном из известных процессов непосредственно прямым восстановлением сталь получить не удастся. Получают чугуны с содержанием углерода от 2 до 4 %. Это связано с тем, что процессы находятся близко к состоянию термодинамического равновесия, а металл и шлак длительное время находятся в контакте друг с другом. Независимое управление составом металла и шлака, а также временем пребывания в этих агрегатах практически не возможно.

Прежде чем показать, почему в процессе СЭР возможно получение стали или, по крайней мере, сплава с более низким содержанием углерода кратко остановимся на принципе работы агрегата. Основу технологической схемы агрегата типа СЭР (рисунок 3.) составляют: система шихтоподачи 1 – 7; реактор-осциллятор 8, соединительный канал с газодинамическим самозапираем 9, рафинирующий отстойник 12, одновременно играющий роль первой ступени мокрой газоочистки, а также системы гарнисажного охлаждения 22 – 23, доводки металла в потоке 13 – 16, утилизации тепла 18 – 21.

Процесс осуществляется следующим образом. Мелкодисперсная шихта, состоящая из смеси оксидов железа и других металлов, вместе с частью твердых восстановителей подается в центральную зону реакционной камеры 8, где в месте встречи спутных потоков кислорода и природного газа, образуется диск уплотнения, на котором в результате динамического взаимодействия происходит интенсивная турбулизация потока шихты и образование больших поверхностей для гетерогенного химического взаимодействия. При этом за счет неполного сжигания в реакционной камере части угля, природного газа или другого восстановителя в соответствии с долей поданного кислорода происходит нагрев и частичное восстановление оксидов.

Образовавшаяся в реакционной камере 8 газовзвесь с объемным газосодержанием 0,98 – 0,99 через соединительный канал 9 подается в нижнюю часть рафинирующего отстойника 12 над верхним срезом копильника 13. При этом выходящая из соединительного потока двухфазная струя играет роль своеобразной динамической подушки или провальной решетки, отделяющей столб пенной газошлаковой эмульсии, играющей одновременно роль мокрой газоочистки, от металла, накапливающегося в копильнике 13 благодаря опусканию по вертикальным пристенным слоям капель металла, получающихся в результате восстановительных процессов в газошлаковой эмульсии. Таким образом, с учетом противодействия гравитационных и аэродинамических сил в рафинирующем отстойнике 12 происходит сепарация металла и шлака, а также образуется неравномерное (по плотности, газосодержанию и химсоставу) распределение параметров по высоте агрегата. Распределенность содержания оксидов железа по высоте обуславливается также термодинамически неравновесным характером процессов, протекающих в реакционной камере и рафинирующем отстойнике, в том числе интенсивными потоками вещества и энергии, поступающими снизу через соединительный канал 9 из реакционной камеры 8.

Таким образом, использование в качестве рафинирующего отстойника вертикального колонного реактора с нижней подачей реакционной газовзвеси в сочетании с существенным отклонением процессов от термодинамического равновесия является важнейшим фактором, который обуславливает возможность разделения потока железоуглеродистого металла, оседающего в копильнике 13, и потока обедненного железом и обогащенного легирующими элементами шлака, отводимого по наклонному каналу 10 в шлакоприемник 18. К нижней части шлакоприемника 10 пристыковываются валковый гранулятор 19 и шлак выдается в качестве конечного продукта на конвейер.

Для лучшего понимания механизма рассмотрим пространственно-зонную декомпозицию процесса (рисунок 4).

В зонах 1 и 2 реакционной камеры наряду с образованием диска уплотнения на встречных струях кислорода происходит сжигание угля или природного газа с недожогом, а также образование псевдогомогенной газовзвеси, начало прогрева и восстановления оксидов.

Определяющим процессом в соединительном канале (зона 3) является газодинамика двухфазного потока (волны сжатия и разрежения) и зависимость скорости потока от объемного газосодержания.

Внедряющийся во взвешенную эмульсию двухфазный поток (зона 4), по видимому, можно рассматривать с одной стороны, как модель идеального смешения, с другой стороны как динамический аналог провальной решетки, которая на высоко турбулизированных вихрях (и за счет волн расширения нагревающегося газа) держит зону 6, которую можно рассматривать как псевдооживленный слой в виде турбулизированной пены и газовзвеси твердых частиц. Через эту зону происходит провал более тяжелых частиц из зон 6 и 7, а также некоторое расслоение частиц входящего из соединительного канала (зона 3) потока. Снизу через эту зону выделяются газообразные продукты реакций зон 5 и 8.

этой зоны может служить состояние переоxygenного шлака в мартеновской печи с той лишь разницей, что здесь вместе с большим содержанием FeO одновременно имеет место большое содержание углерода в виде твердых частиц углерода и углерода, растворенного в корольках металла. По-видимому, именно в этой зоне находится самая неравновесная составляющая процесса.

Эта зона может играть важную роль для оптимизации конструкции прилегающей части агрегата: расстояние соединительного канала от уровня металла в копильнике и угол наклона соединительного канала.

Чем больше эта зона, тем больше время пребывания и степень превращения веществ, но при этом больше вероятность образования и размеры зародышей флуктуаций. Чем больше угол наклона соединительного канала, тем больше вероятность попадания относительно крупных частиц шихты непосредственно в эту зону, минуя зону 6.

Это открывает дополнительные возможности управления технологическим процессом: можно целенаправленно увеличивать в шихте количество крупных фракций оксидов, а возможно и извести, а также создавать на границе шлак-металл относительно холодную зону и удалять фосфор тепловым ударом в сочетании с ростом окисленности шлака и основности (опять же напрашивается некоторая аналогия с мартеновской ванной), а также снижать содержание углерода в металле.

Зона 6. Взвешенный над зоной 4 достаточно высокий слой пенистой газошлакометаллической эмульсии, в которой также могут находиться частицы твердых оксидов и углерода. Эта зона занимает подавляющую часть колонного реактора (рафинирующего отстойника).

Важной особенностью процесса является нижний подвод реагентов в виде газозвеси и верхний отвод шлака (также в виде газозвеси или эмульсии), что позволяет *выбрасывать сильно вспененный шлак из вертикального реактора (рафинирующего отстойника) через верхнюю летку (см. рисунок 3) в гранулятор шлака. При этом снижаются требования к текучести шлака, который в то же время получается высокопористым, что очень важно для его последующей переработки*

При описании макрокинетики для всего усредненного объема зоны 6 следует учитывать, что из-за влияния гравитационной составляющей и близкого к параболическому распределению вектора вертикальной составляющей скорости движения эмульсии в поперечном сечении колонного реактора в нем имеет место сепарация частиц в зависимости от их плотности. Вследствие этого явления, частицы восстановленного железа, имеющие плотность в два-три раза большую, чем частицы оксидов, «скатываются» на периферию потока и образуют пристенный слой с отрицательной (обратной) скоростью (зона 7). Это явление наблюдалось нами визуально на физической модели.

Зона 7. Гравитационная сепарация восстановительных частиц железа в пристенном слое колонного реактора. Существование пристенного слоя, в котором частицы движутся в обратном, по отношению к основному потоку газозвеси, направлении (то есть вниз) было достаточно убедительно подтверждено

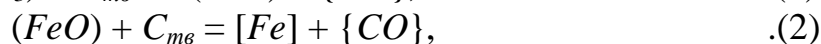
в экспериментах на холодной физической модели (газ, вода, частицы), а также на математической модели газодинамической двухфазной среды. Это связано с параболическим характером распределения скорости по сечению, трением пристенных частиц, отбрасываемых в этот слой.

Зона 8. Копильник для восстанавливаемого металла. Эту зону можно представить в виде двух подзон. Верхняя часть представляет собой турбулизированную смесь металла и шлака, похожую на зону, прилегающую к первичной реакционной кислородного конвертера. Вторую подзону можно представлять как модель идеального вытеснения и использовать почти классические уравнения диффузии и теплопереноса с учетом тепловой конвекции и, возможно, перемешивания индуктором. Из нижней части этой застойной зоны можно получать металл прямого восстановления, который не находился в контакте со шлаком и не проходил стадии окисления, он, по-видимому, самораскислен избыточным содержанием углерода. Это может открыть возможности, пока слабо изученные, для получения металла принципиально нового качества.

Прежде чем подытожить технологические особенности и возможности процесса СЭР очень коротко остановимся на важном и интересном исследовании окислительно-восстановительных процессов в эмульсионной системе. Методика этих исследований реализована [9, 10] в печи Таммана в стеклографитовом тигле, в герметичной системе с непрерывным газовым анализом, путем использования в качестве реагентов расплавленного высокожелезистого шлака и графита тигля. Схема установки приведена на рисунке 5.

При обосновании методики принят следующий механизм процессов, протекающих по параллельно-последовательным стадиям:

– взаимодействие оксидов железа шлака с графитом тигля по реакциям

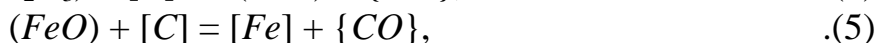


в результате которых на стенках тигля образуется новая фаза – капли металлического железа;

– науглероживание капель железа и образование железоуглеродистого расплава:



– взаимодействие растворенного в железе углерода с оксидами шлака:



приводящее к образованию микрореакторов – систем «капля металла-пузырек CO»;

– отрыв систем «капля металла – пузырьки CO» от стенок тигля и попадание их в слой шлака;

– автокаталитическое развитие реакции (3.5) в шлаковой фазе, приводящее к образованию газошлакометаллической эмульсии и устойчивой шлаковой пены; коагуляция восстановленных капель металла и опускание их на дно тигля.

В соответствии с принятым механизмом развития процессов эксперименты для шлака заданного состава проводили в два этапа: без газового анализа в обычной печи Таммана и с автоматическим контролем состава отходящих газов в печи с герметичной системой.

На основе обработки большого количества результатов экспериментов, проведенных по этой методике, подробнее см. в [9, 10], получены интересные результаты и закономерности: уравнения и константы скоростей реакций, данные о поверхностях взаимодействия и др.

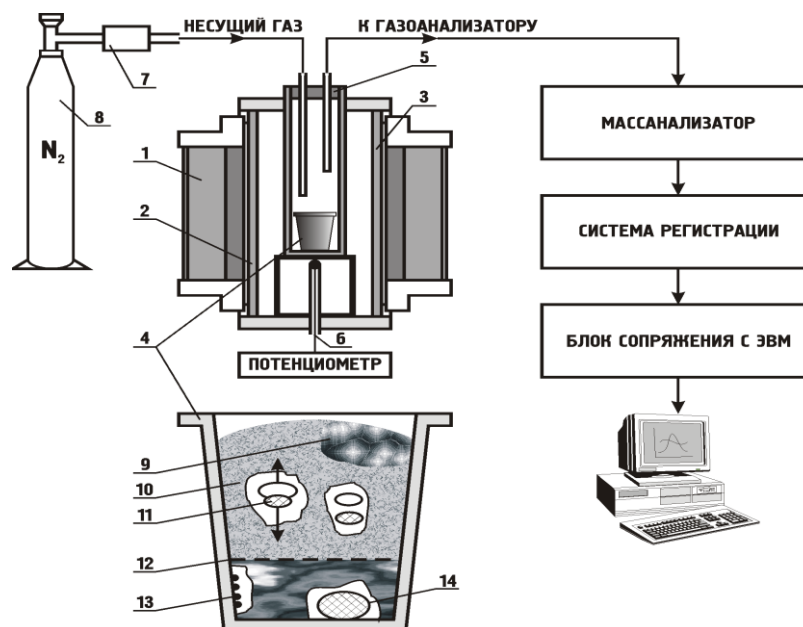
Наиболее важные из них следующие:

1. Изменение во времени скорости реакции косвенного окисления углерода или восстановления железа из расплавленного высокожелезистого шлака углеродом, растворенным в железе, имеет ярко выраженный автокаталитический характер. Такой ход процесса объясняется влиянием обратных связей, обусловленных формированием поверхностей контакта дисперсных систем, являющихся продуктами собственной реакции.

2. Соотношение удельных скоростей восстановления железа из расплавленных оксидов твердым углеродом и углеродом, растворенным в металле находится в пределах 1:10.

3. Определяющими параметрами процессов являются: содержание оксидов железа в шлаке; поверхность капель металла, находящихся в шлакометаллической эмульсии, и температура металла. Эти факторы влияют на динамические характеристики.

Возвращаясь снова к описанию процесса СЭР, зонная модель на рисунке 4, подчеркнем, что реакции 1 и 2 имеют преимущественное развитие в зоне 6, а реакции 4 и 5 – на границе зон 5 и 8. Причем этими реакциями можно отдельно управлять.



1 – печь Таммана; 2,3 – защитные коррундовые трубки; 4 – стеклографитовый тигель-реактор; 5 – огнеупорная пробка; 6 – чехол с термопарой; 7 – редуктор; 8 – баллон с нейтральным газом; 9 – шлаковая пена; 10 – газошлакометаллическая эмульсия; 11 – система «капля металла – пузырек СО»; 12 – граница начального уровня шлака; 13 – зарождение новой фазы; 14 – капля восстановленного металла

Рисунок 5 – Схема установки высокотемпературного моделирования

После представленного выше анализа можно сделать заключительные выводы об особенностях процесса СЭР, позволяющих в процессе прямого восстановления получать металл с достаточно низким содержанием углерода.

1. Благодаря наличию побудителя расхода (реактор-осцилятор), повышенного давления, внутреннего транспорта и нижней подачи рабочей смеси в вертикальный колонный реактор в нем создаются диссипативные динамические структуры (зоны), в которых возможно независимое управление отдельными процессами.

2. В колонном реакторе создан диссипативный сепаратор металла, шлака и газа, а плотность эмульсии по высоте распределена по параболическому закону, при этом временем пребывания металла и шлака можно в определенной мере управлять независимо.

3. Химические реакции протекают в неравновесных условиях с отводом продуктов реакций, при этом реакция (1,2) – восстановление оксидов железа твердым углеродом имеет преимущественное развитие в зоне 6 (верх колонного реактора), а реакции (4,5) – с растворенным в металле углеродом имеет место на границе зон 5 и 8 (турбулентный слой на границе металл-шлак) и скорость на порядок большую, чем реакции (1,2).

4. Зоны 5 и 8 отделены динамической «подушкой» (зоной 4) от зоны 6.

5. Долю оксидов железа, перерабатываемых на границе шлак-металл (зоны 5 – 8) можно увеличивать за счет крупности рудных материалов и дополнительного индукционного подогрева копильника, а в зоне 6 повышать восстановительный потенциал за счет подачи коксика или угля в колонный реактор на верх шлаковой эмульсии.

В большинстве экспериментальных плавков на опытной установке нового процесса на Запсибметкомбинате получалось содержание углерода в диапазоне 0,5 – 1,5 % углерода, а на нескольких плавках было даже получено содержание углерода 0,04 – 0,10 %, но это было связано либо с длительным открыванием летки, либо со значительным переокислением шлака, за счет излишней подачи кислорода.

Необходимо отметить, что на опытной установке была возможность реализовать не непрерывный, а непрерывно-периодический режим, но и в реальной технологии, в связи с малой инерционностью процесса, реализация такого режима (с периодическим выпуском и оставлением «болота» в копильнике) возможна.

В заключение следует подчеркнуть, что представленный выше новый металлургический процесс и агрегат типа самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор может стать основой для создания мини-заводов полного цикла (от руды до металла), особенно в связи с возможностью эффективной переработки пылевидных материалов и отходов. Состояние разработки и направления применения этого процесса агрегата, из-за ограниченного объема статьи, заслуживают отдельного рассмотрения.

Список литературы

1. Патент СССР № 1835173. Способ непрерывного рафинирования металла и агрегат для его осуществления / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, К.М. Шакиров и др. – 1988.
2. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. - 512 с.
3. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. – 406 с, ил.
4. Запсиб: в Сибири рождается альтернативная наукоемкая металлургия постиндустриальной эпохи /В. Цымбал, Б. Кустов, Р. Айзатулов, С. Мочалов, К. Шакиров // Металлы Евразии, 1996. – № 8. – С. 114–117.
5. Цымбал В.П., Мочалов С.П., Калашников С.Н. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. В 3-х.: Ч. III. Примеры реализации идей и принципов синергетики: учеб. пособие / под ред. В.П. Цымбала; СибГИУ – Новокузнецк, 2005. – 264 с.
6. Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г., Шрейбер И.Р. Волоновая динамика газо- и парожидкосткостных сред. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.
7. Бигеев А.М. Непрерывные сталеплавильные процессы. М.: Металлургия, 1986. – 136 с.
8. Бигеев А.М., Бигеев А.М. Теория и технология плавки стали: учебник для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. – Магнитогорск: МГТУ. 2000. – 344 с.
9. Экспериментальные исследования кинетики совместно протекающих реакций в системе железоуглеродистый расплав-шлак-газ / И.А. Телегин, К.М. Шакиров, С.П. Мочалов и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1993. – № 6. – С. 10–14.
10. Телегин И.А., Шакиров К.М., Мочалов С.П. Исследования поведения газошлакометаллической эмульсии в рафинирующем отстойнике / Изв. вузов. Черная металлургия. – 1993. – № 8. – С. 33–34.

УДК 519.876.5:669

Кожемяченко Т.С. Реализация стационарных колебательных режимов в струйно-эмульсионном металлургическом процессе и расчет конструктивных параметров с использованием свойства критического истечения двухфазного потока / Т.С. Кожемяченко, В.И. Рыбенко, С.П. Мочалов, В.П. Цымбал // Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии : тр. 3-й всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 30-летию каф. ИТМ, 22–25 марта 2011 г. / Сиб. гос. идустр. ун-т. – Новокузнецк : СибГИУ, 2011. – С. 339–347.

Эта статья является продолжением исследований по разработке технологий получения металла в новом струйно-эмульсионном процессе и агрегате [1]. При создании этого процесса и агрегата была поставлена и решена задача использования некоторых принципов синергетики [2] и ряда физических эффектов [3] для резкого увеличения скорости химических реакций, уменьшения удельного объема агрегата и его энергоемкости. Благодаря диспергации шихты встречными струями процесс переведен в газофазную область (газовзвесь), а

использование свойства критического истечения двухфазной среды (газовзвеси, эмульсии) в сочетании с принципом круговой подчиненности (частицы-поле-частицы) позволило создать самоорганизующийся реактор-осциллятор. При этом величина неравновесного колебательного стационара (производительность процесса) находится из решения совместной математической модели, связывающей основные конструктивные параметры агрегата и режимные параметры процесса.

Ниже приводятся результаты модельных экспериментов и расчетов, направленные на конкретизацию применения этих принципов при решении задачи проектирования агрегата типа СЭР (самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор) определенной (заданной) производительности.

Методика расчета режимов струйно-эмульсионного металлургического процесса предусматривает выполнение нескольких этапов, основными из которых являются:

1. определение для заданного желаемого набора шихтовых материалов во входном потоке и их состава массовых соотношений компонентов шихтовых материалов и физико-химических параметров состояния процесса;
2. расчет конструктивных параметров агрегатов, предусматривающий разделение агрегатов на ряд отдельных взаимосвязанных «зон» и рассмотрение зоны как элемента с однородными параметрами.

Первый из указанных выше этапов является итерационной процедурой, рассчитывающей такое соотношение материалов, при котором выполняются законы сохранения материального и теплового балансов при заданной степени неравновесности системы (глубине протекания процессов). Выполнение расчета может производиться в различных инструментальных системах. Помимо соотношений исходных материалов на этом шаге могут определяться такие параметры процесса, как время пребывания веществ в агрегатах, массы веществ, находящихся в агрегате и др. В случае получения результатов, неудовлетворяющих поставленной задаче, требуется проведение корректирующих операций по параметрам конечных продуктов либо составу исходных шихтовых материалов.

Второй из указанных выше этапов использует в качестве исходных данных результаты предыдущего этапа. При этом используемая для расчета инструментальная система позволяет реализовывать различные схемы расчета, задаваясь набором известных или желаемых параметров и определяя значения искомых величин.

Математическая модель, используемая при выполнении газодинамических расчетов при определении конструктивных параметров, описана следующим образом.

Единицей математического описания будем рассматривать зону. Общее число фаз, присутствие которых возможно в зоне обозначим $N_{фаз}$. Каждая f -ая фаза состоит из N^f веществ, причем отдельно взятое вещество не может присутствовать сразу в нескольких фазах.

Давление в реакторе создается газовой фазой и определяется выражением

$$P = \frac{m^2}{V^2 \mu} RT^2, \text{ Па}, \quad (1)$$

где m^2 – масса газовой фазы, кг;
 V^2 – объем, занимаемый газовой фазой, м³;
 μ – молярная масса газовой фазы, кг/моль;
 R – универсальная газовая постоянная;
 T^2 – температура газовой фазы, К.

Молярную массу газовой фазы выразим соотношением

$$\mu = \frac{m^2}{\text{моль}^2} = \frac{m^2}{\sum_{i=1}^{N^2} \frac{m_i}{\mu_i}}, \text{ кг/моль}, \quad (2)$$

где моль^2 – число молей газовой фазы, моль;
 N^2 – число веществ газовой фазы;
 μ_i – молярная масса i -го вещества газовой фазы, кг/моль.

Для расчета скорости потока газа воспользуемся формулой Сен-Венана-Вентцеля [4]

$$U = \sqrt{2c_p T \left(1 - \left(\frac{P'}{P_{ex}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)}, \quad (3)$$

где c_p – эффективная теплоемкость потока, Дж/(кг·К);
 P_{ex} – давление в зоне выхода потока, Па;
 P' – давление на срезе выхода потока, Па;
 $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ – показатель адиабаты газа.

Давление на срезе выхода потока при дозвуковом истечении потока практически совпадает с противодавлением, т.е. давлением в зоне, в которую выходит поток, или с давлением окружающей среды. Однако при достижении потоком местной скорости звука, оно составит величину

$$P' = P_{ex} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}, \text{ Па}. \quad (4)$$

Таким образом, при использовании цилиндрических сопел, скорость выходного потока газа можно выразить как

$$U = \sqrt{2c_p T \left(1 - \Delta P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)}, \text{ м/с}, \quad (5)$$

где $\Delta P = \max \left(\frac{P}{P_{ex}}, \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right)$, Па.

При расчете выходного потока газа необходимо учитывать в формулах плотность веществ на срезе выхода потока следующим образом [4]

$$\rho' = \rho_{ex} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)^{-\frac{1}{\gamma - 1}}, \quad (6)$$

где $M = \frac{U}{a}$ – число Маха;

$$a = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma + 1} R_1 T} \quad \text{– местная скорость звука, м/с;}$$

$$R_1 = \frac{R}{\mu} \quad \text{– постоянная для данного газа, Дж/(кг·К);}$$

μ – молярная масса газа, кг/моль.

С учетом высокого газосодержания смеси [4], газодинамические расчеты для выходного потока смеси можно проводить по уравнениям газовой динамики совершенного газа, имеющего эффективный показатель адиабаты $\bar{\gamma}$.

$\bar{\gamma}$ определяется исходя из соотношения

$$\bar{\gamma} = \frac{c_v + \bar{R}}{c_v}, \quad (7)$$

где $\bar{R} = R_1^2 x^2$ – постоянная газозвеси, Дж/(кг·К);

$$R_1^2 = \frac{R}{\mu^2} \quad \text{– постоянная газовой фазы, Дж/(кг·К);}$$

x_1 – массовая доля газовой фазы в потоке;

μ^2 – молярная масса газовой фазы, кг/моль.

В зависимости от объемной доли газовой фазы возможен «жидкостный» или «газовый» режим истечения выходных потоков.

Следует отметить, что использованием приведенных выше соотношений может быть как в прямом, так и в обратном направлении (например, по параметрам газовой фазы и давлению в реакторе определяется объем газовой фазы) в зависимости от схемы расчета, принятой в модели.

Для расчета скорости потока из жидких фаз использовано соотношение [4, 5]:

$$U = \sqrt{2(P_h - P_{вых})/\rho + 2gH}, \quad (8)$$

где P_h – гидростатическое давление зоны, расположенной выше, Па;

$P_{вых}$ – давление на выходе потока, Па;

g – плотность вещества в зоне, кг/м³;

H – высота зоны над выходным каналом, при условии, что зона

полностью заполнена.

Расчет газодинамических режимов струйно-эмульсионного металлургического процесса во взаимосвязи с конструктивными параметрами агрегатов представляет сложную задачу, не имеющую единственного решения, так как существует целый ряд технологических и конструктивных ограничений, а так-

же нет обратной связи для идентификации, поскольку речь идет о проектировании агрегата для заданной производительности.

Поэтому расчет может быть итерационным, многоэтапным, с последовательным изучением режимов в отдельных элементах агрегатов. Принятая компоновка агрегатов приведена на рисунке 1.

Расчеты проводились по исходным данным, полученным для различных условий работы агрегатов при степенях дожига CO 10, 20, 30, 40 и 50%. Сводная характеристика параметров расчетов для разных степеней дожига CO приведена в таблице 1.

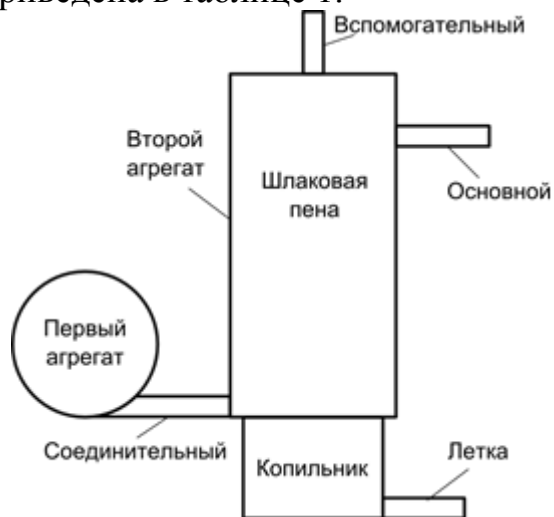


Рисунок 1 – Компоновочная схема агрегатов

Таблица 1 – Основные параметры расчета для разных степеней дожига CO

Параметр	Степень дожига CO , %				
	10	20	30	40	50
Процент CO в агрегате «Первый агрегат», %	68,64	58,42	49,04	40,39	32,40
Процент CO в агрегате «Второй агрегат», %	67,65	57,65	48,32	39,74	31,83
Массовый расход металла в канале «Соединительный», кг/с	0,185	0,184	0,184	0,184	0,184
Массовый расход шлака в канале «Соединительный», кг/с	1,766	1,752	1,743	1,737	1,732
Массовый расход газа в канале «Соединительный», кг/с	1,464	1,215	1,051	0,935	0,848
Массовый расход шлака в канале «Основной», кг/с	1,348	1,333	1,322	1,314	1,308
Массовый расход газа в канале «Основной» при отсутствии отвода через канал «Вспомогательный», кг/с	1,979	1,699	1,504	1,361	1,251

Расчет конструктивных параметров осуществляется «с конца», т.е. с тех агрегатов и выходных каналов, которые имеют связь с атмосферой. Рассчитанные давления используются как исходные данные при расчетах взаимосвязанных с ними агрегатов.

Определение параметров агрегата «Второй агрегат». Для определения диаметра канала «Основной» и давления в зоне «Шлаковая пена» были проведены расчеты истечения смеси газа и шлака через данный канал. Зависимость скорости истечения смеси и давления в зоне истечения от диаметра канала приведена на рисунке 2.

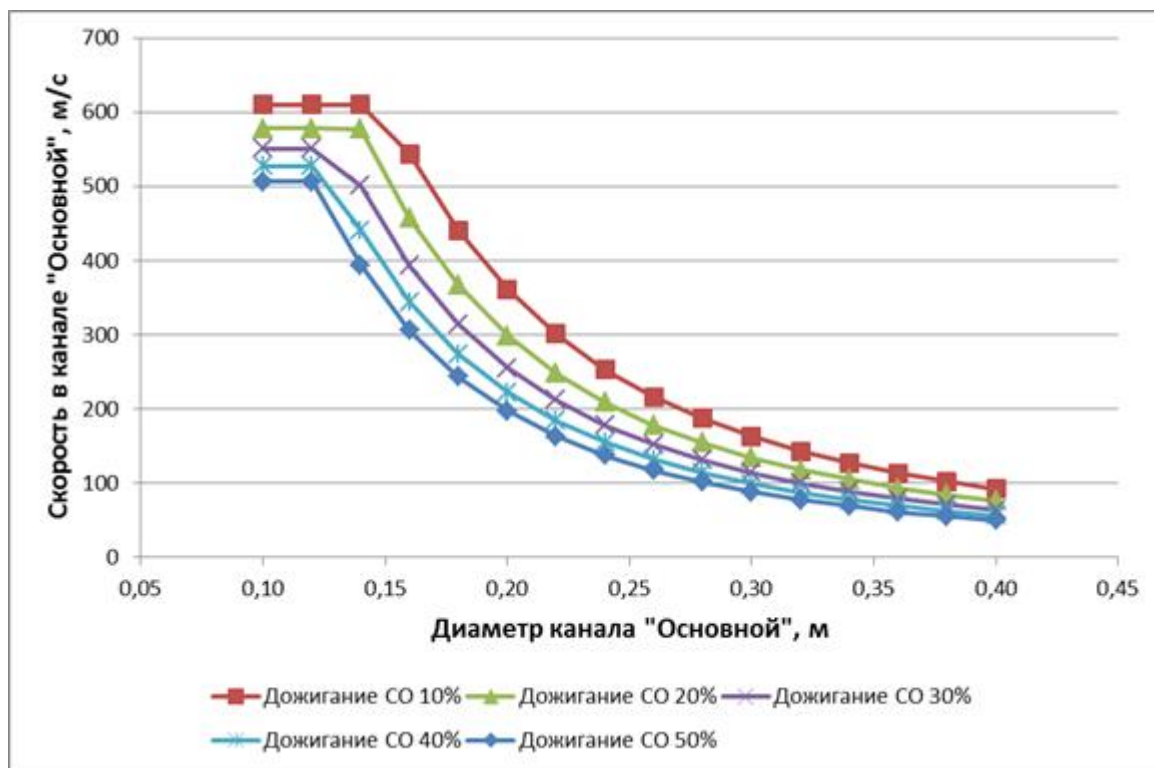


Рисунок 2 – Зависимость скорости истечения в канале «Основной» от диаметра канала при разных степенях дожигания CO

Для обеспечения необходимых режимов работы агрегатов требуется наличие некоторого давления в зоне «Шлаковая пена», однако в этом случае скорости истечения из канала «Основной» достаточно высоки. Для уменьшения скоростей истечения, а также для обеспечения требуемого режима вытекания шлака, часть газов (примерно 20 %) решено отводить через канал «Вспомогательный».

Расчет выпуска металла «Летка» производился исходя из заданных расходов металла и необходимости пребывания металла в зоне «Копильник» в течение одного часа. Расчет показал, что для обеспечения заданных условий требуется высота зоны 0,83 м (при диаметре зоны 0,80 м). При этом требуемый для непрерывного выпуска диаметр канала 0,006 м не может быть реализован технически, поэтому принято решение о периодическом выпуске металла.

На основе приведенных выше данных выбраны следующие параметры:

- диаметр канала «Основной» 0,25 м;
- доля расхода газа в канале «Вспомогательный» 20 %;
- диаметр канала «Вспомогательный» 0,10 м;
- диаметр зоны «Шлаковая пена» принят в 1 м;

- диаметр зоны «Копильник» принят в 0,8 м;
- высота зоны «Шлаковая пена» принята в 4 м;
- высота зоны «Копильник» 0,83 м.

Определение параметров агрегата «Первый агрегат» выполнялось с учетом обеспечения необходимого «времени пребывания» веществ в нем для получения требуемой степени превращения веществ. Время пребывания, наряду с давлением в агрегате и требуемым массовым расходом веществ, оказывает существенное влияние на геометрические размеры агрегата. Полученные зависимости диаметра агрегата «Первый агрегат» от давления в реакторе для разных значений времени пребывания при заданном массовом расходе веществ показаны на рисунке 3.

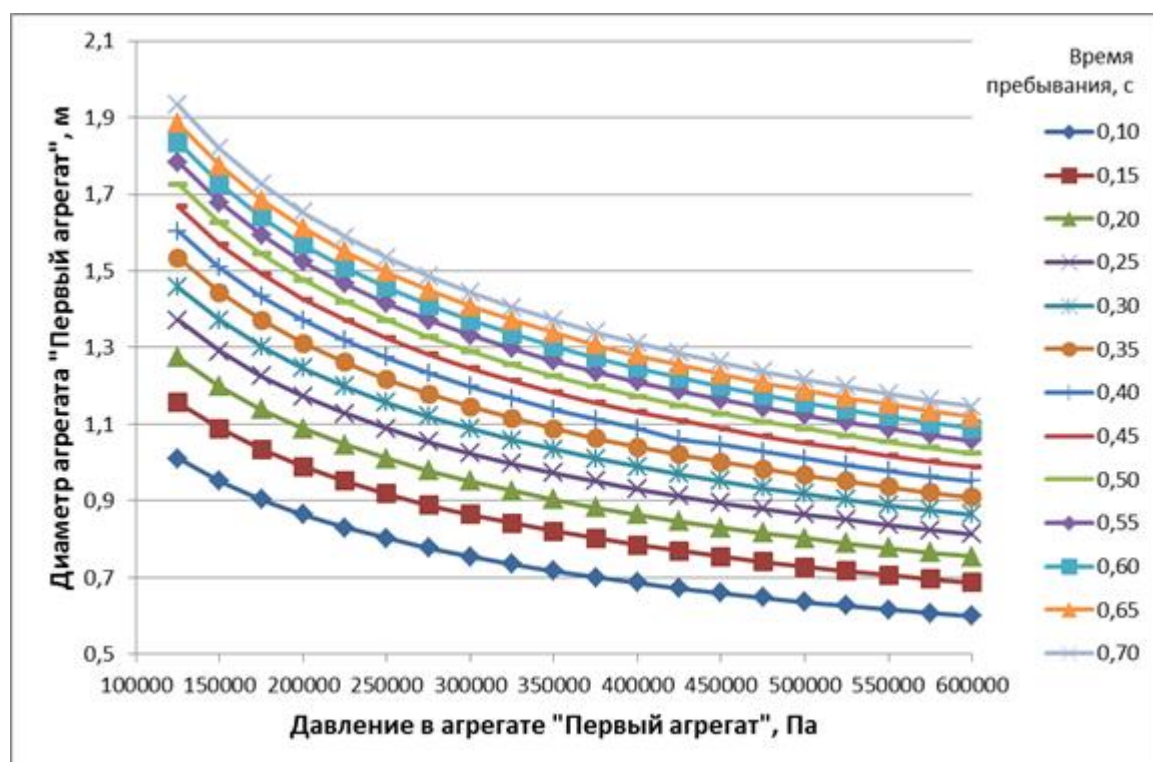


Рисунок 3 – Зависимость диаметра агрегата «Первый агрегат» от давления в агрегате при разных значениях времени пребывания

Для обеспечения времени пребывания 0,35 с и давления в агрегате 3 – 4 атм. был выбран диаметр агрегата 1,1 м.

При заданных массовом расходе веществ в канале «Соединительный» и давлении в агрегате «Первый агрегат» значения скоростей истечения в канале и диаметра канала определяются однозначно. Зависимости скорости и диаметра канала от давления в агрегате приведены на рисунке 4.

Для выбранного давления в агрегате диаметр канала «Соединительный» будет составлять 0,092 м при скорости 486 м/с.

В канале «Соединительный» скорость истечения достигает критической отметки. Значения критических скоростей для различных степеней дожига CO и различных значениях объемного газосодержания показаны на рисунке 5.

Точками на рисунке отмечены значения, соответствующие режимам работы агрегатов при рассчитанных конструктивных параметрах.

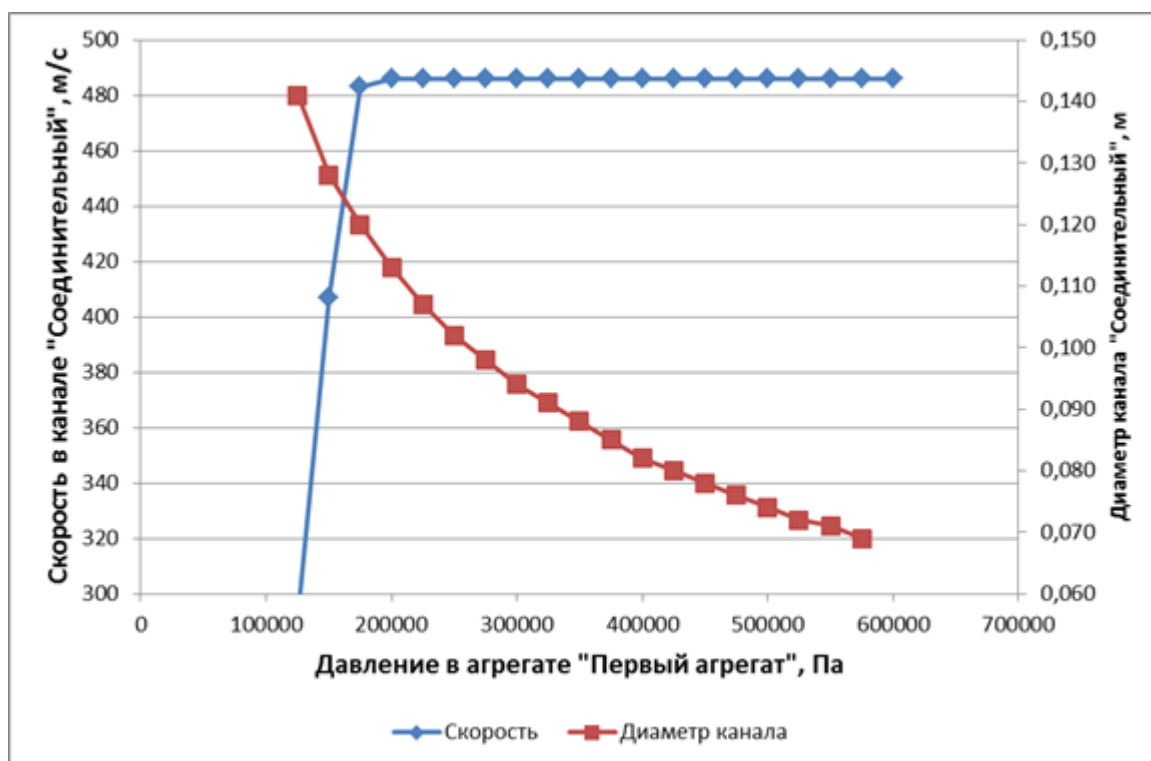


Рисунок 4 – Зависимость скорости в канале и диаметра канала «Соединительный» от давления в агрегате

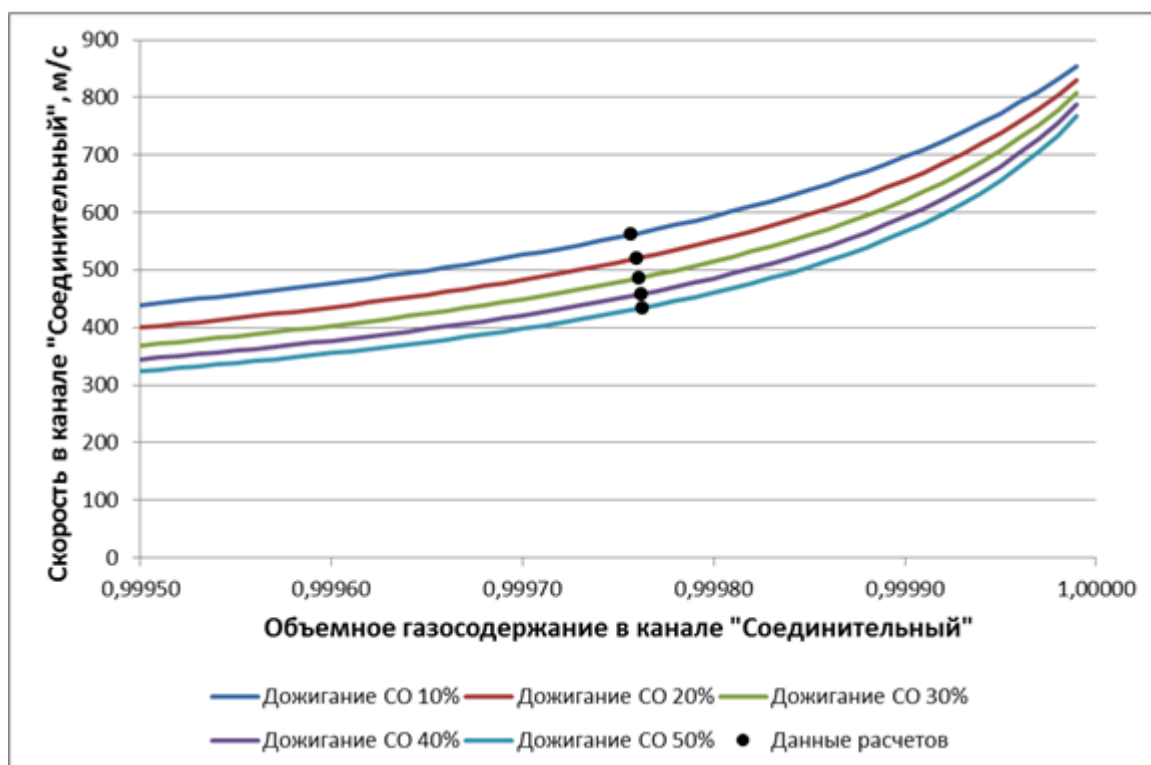


Рисунок 5 – Зависимость критической скорости от объемного газосодержания при разных степенях дожигания CO для условий канала «Соединительный»

Список использованных источников

1. Цымбал В.П., Мочалов С.П., Калашников С.Н. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. В 3-х.: Ч. III. Примеры реализации идей и принципов синергетики: учеб. пособие / под ред. В.П. Цымбала; СибГИУ – Новокузнецк, 2005. – 264 с.
2. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. – 512 с.
3. Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г., Шрейбер И.Р. Волоновая динамика газо- и парожидкостных сред. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.
4. Седов Л.И. Механика сплошной среды. т.2 – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 560 с.
5. Темцев Б.Т. Техническая гидромеханика.- М.: Машиностроение, 1978. – 463 с.

УДК 669.681.513.8(075)

Калашников С.Н. Моделирование сложных процессов теплообмена на основе VBA-приложений с целью оптимизации конструктивных параметров: тр. всерос. науч.–практ. конф., 2 – 5 апр. 2001 г / С.Н. Калашников, С.П. Мочалов, С.Ю. Красноперов, В.П. Цымбал, Е.В. Суздальцев. ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2001. – С. 471–474.

При выборе конструктивных параметров проектируемых технологических агрегатов возникает необходимость моделирования режимов работы агрегатов. При оценке теплообменных процессов в конструкциях агрегатов приходится моделировать температурные поля, развивающиеся и устанавливающиеся в той или иной части конструкции, имеющей как правило сложную геометрическую область [1].

В настоящей работе задача исследования температурных полей в элементах конструкций со сложной геометрической областью в двумерном приближении реализуется на основе реализации алгоритмов решения задач теплообмена в табличном процессоре Excel в составе MS Office 2000 и разработки VBA-приложений для организации работы алгоритма. Отличительной особенностью разработанного проекта является организация взаимосвязи ячеек табличного процессора в соответствии с геометрическими особенностями исследуемого объекта и алгоритма решения дифференциальных уравнений математической модели, а также то, что так называемое построение объекта исследования в табличной среде реализуется в автоматизированном режиме с помощью VBA-приложений.

Успех MS Office 2000 в качестве инструментального средства во многом объясняется широким диапазоном решаемых с его помощью задач - от написания простеньких макрокоманд для автоматизации повторяющихся операций до создания крупных информационных систем. Из всех офисных программ для создания пользовательских приложений чаще всего используется Excel.

Для математического описания теплообмена через тело в двумерном приближении с геометрической областью D и кусочно-гладкой границей $\square D$ использованы модели в виде краевых задач математической физики III рода для дифференциального уравнения с частными производными параболического типа в случае нестационарного теплообмена

$$\left\{ \begin{array}{l} c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \text{div} \mathbf{C} \cdot \text{grad} \mathbf{C} \\ t|_{\tau=0} = t_0 \\ \lambda \frac{\partial t}{\partial n} \Big|_{\partial D} + \alpha (t - t_{cp}) = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

и для уравнения эллиптического типа - в случае стационарного [2]

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{div} \mathbf{C} \cdot \text{grad} \mathbf{C} = 0 \\ \lambda \frac{\partial t}{\partial n} \Big|_{\partial D} + \alpha (t - t_{cp}) = 0, \end{array} \right. \quad (2)$$

где t, t_0 – текущее и начальное распределения на D температуры тела, $\square C$;

ρ – распределение на D плотности материала тела, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c – распределение на D удельной теплоемкости материала тела, $\text{Дж}/(\text{кг} \square \square C)$;

\mathbf{C} – распределение на D коэффициента теплопроводности материала тела, $\text{Вт}/(\text{м} \square \square C)$;

α – распределение на $\square D$ коэффициента теплоотдачи со стороны как греющей, так и охлаждающей сред, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \square \square C)$;

t_{cp} – распределение на $\square D$ температуры окружающей среды, $\square C$;

τ – время, с;

n – внешняя нормаль к границе тела $\square D$.

Одной из особенностей описанного выше подхода является проектирование и реализация интерфейса пользователя путем создания соответствующих диалоговых окон, элементов управления и диаграмм для оперативного управления процессом вычислительного эксперимента и анализа его результатов в виде как числовой, так и графической информации. Параметрами оперативного управления являются как теплофизические характеристики горячих сред и охладителей, так и конструктивные параметры охлаждаемых элементов исследуемых объектов.

Кроме этого путем формирования критерия оптимизации в соответствии с требуемой естественно-физической постановкой задачи и реализации поставленной оптимизационной задачи с помощью оптимизатора (Solver) табличного процессора Excel возможно автоматизированное решение задачи выбора оптимальных конструктивных параметров проектируемых агрегатов.

Описанный выше подход использован при подборе оптимальных размеров соединительных фланцев реактора и размеров каналов для движения воды в качестве охладителя по поверхности струйно-эмульсионного металлургического реактора [3]. На рисунке 1 представлено температурное поле, установившееся во фланце и прилегающих к нему участках стенки реактора в одном из расчетов вычислительного эксперимента. На приведенном рисунке показаны значения температуры в угловых точках сечения фланца и на поверхности гарнисажа. Основное внимание на рисунке уделено распределению температуры во фланце и прилегающему к нему участку стенки реактора, при этом линии уровня соответствуют значениям температуры, отличающимся друг от друга на 2 градуса. Область с темной закрашкой соответствует слоям огнеупора и гарнисажа, на которых достигается большой перепад температур.

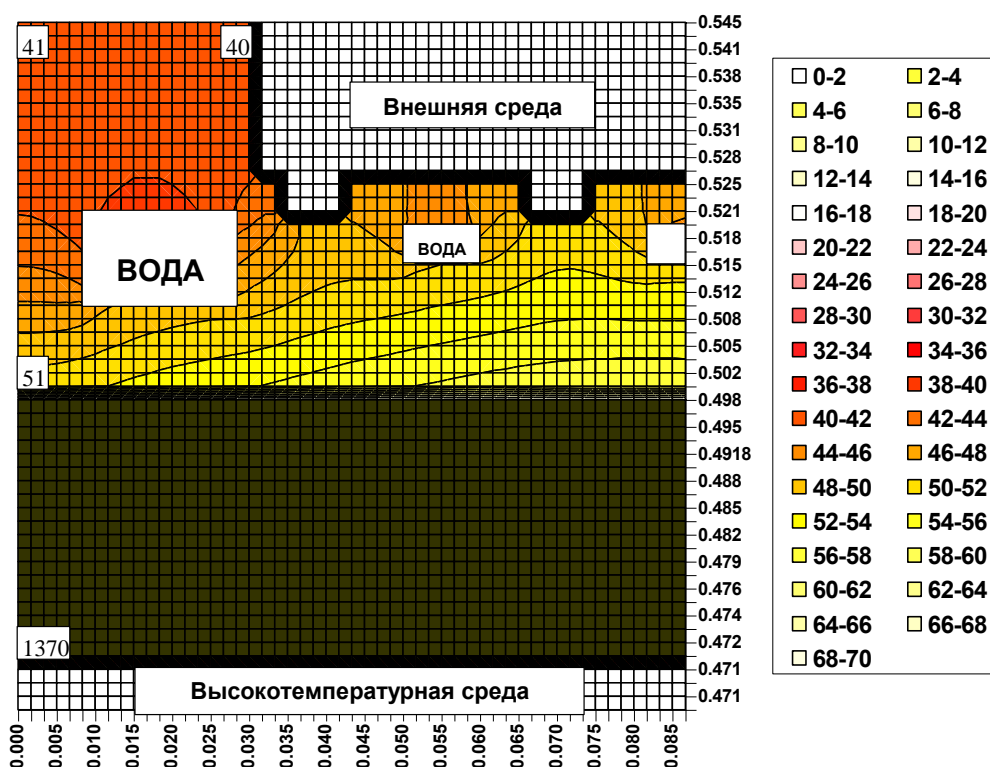


Рисунок 1 – Температурное поле

Литература

1. Моделирование и оптимизация теплообменных процессов в трехмерном приближении на основе разработки Excel-приложений / С.Н. Калашников, С.Ю. Красноперов, С.П. Мочалов и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1999. – № 8. – С. 65–68.
2. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981, – 512 с.
3. Разработка новых наукоемких металлургических процессов и агрегатов струйно-эмульсионного типа на принципах самоорганизации / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, К.М. Шакиров, Р.С. Айзатулов, Б.А. Кустов и др. // Новые промышленные материалы и технологии. – Новосибирск, Сибирские огни, 2000. – 361 с.

Падалко А.Г. **Автоматизированная лабораторная установка низкотемпературного физического моделирования процесса с элементами самоорганизации** / А.Г. Падалко, А.А. Оленников, В.Н. Нурмухаметов, В.П. Цымбал ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк

На кафедре информационных технологий в металлургии СибГИУ создана установка низкотемпературного физического моделирования общий вид которой представлен на рисунке 1, а принципиальная схема системы контроля и автоматизации на рисунке 2. В этой установке отражено гидродинамическое подобие процессов протекающих в новом самоорганизующемся струйно-эмульсионном металлургическом процессе [1]. На этой установке возможно моделирование некоторых диссипативных структур: реактор осциллятор с газодинамическим запирающим, ядро уплотнения встречных струй, сепаратор металла, шлака и газа, кипящий слой и др.[2]

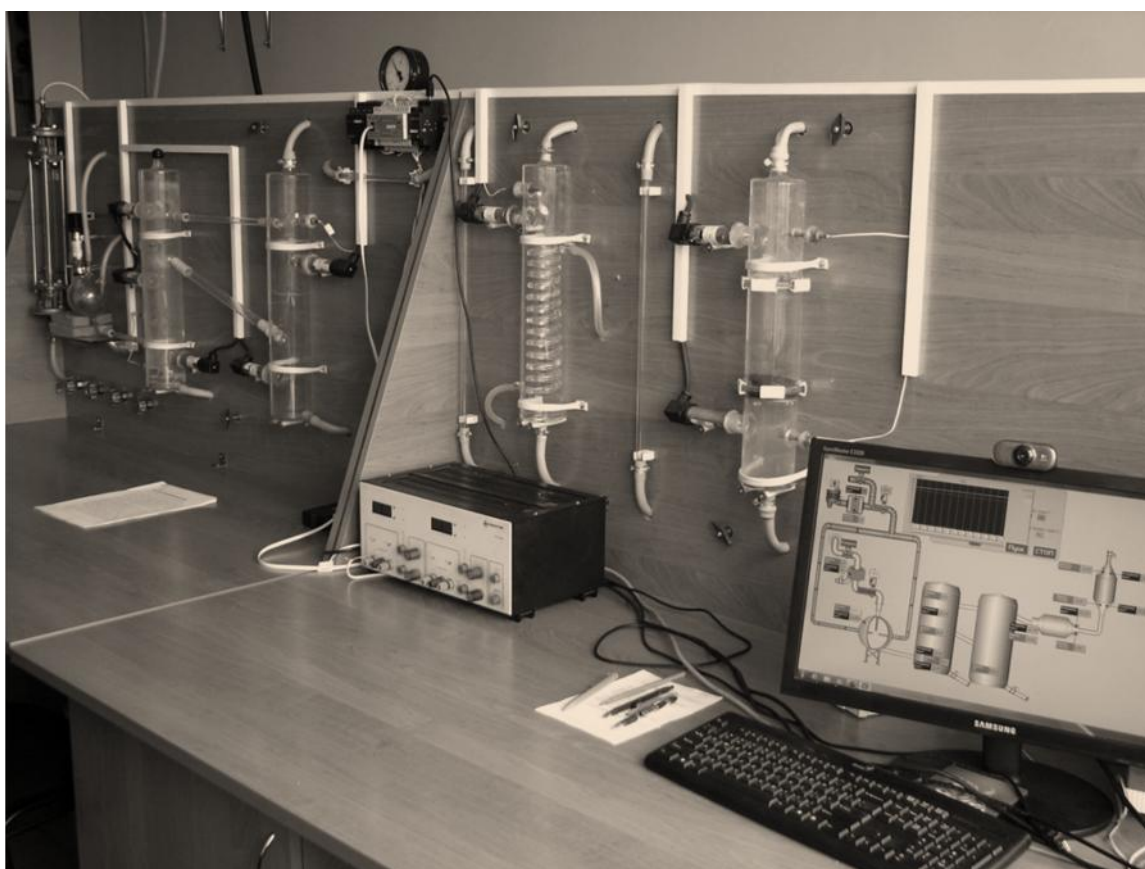


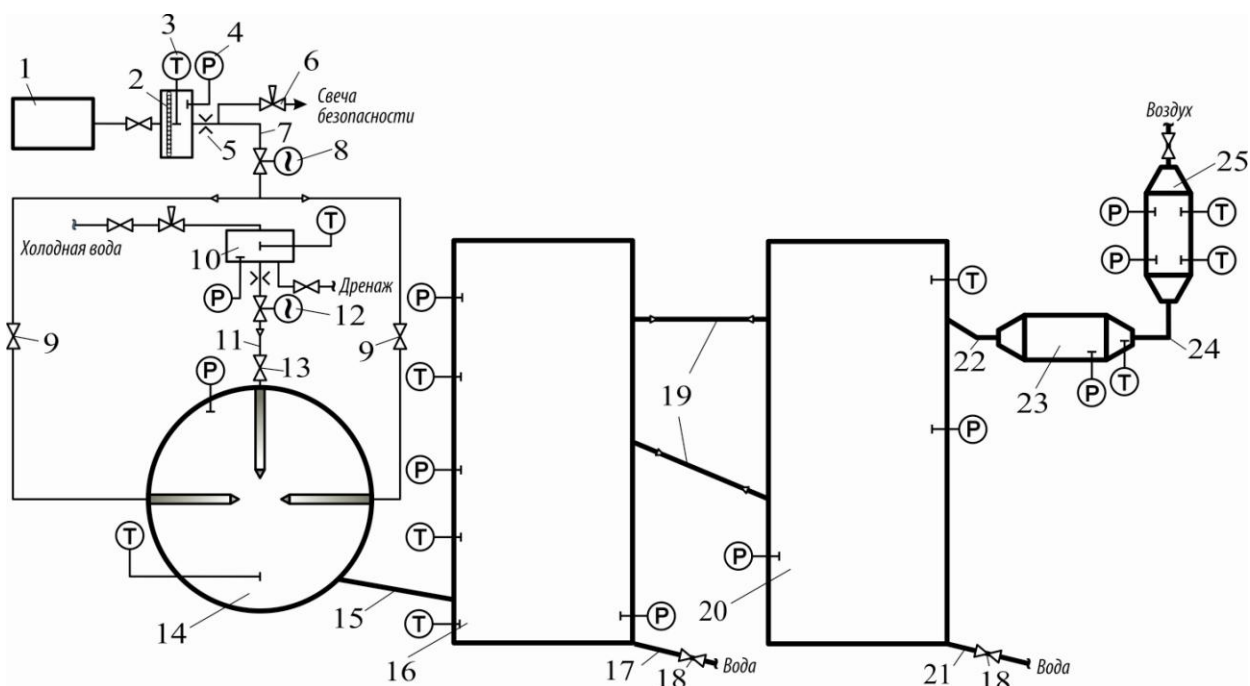
Рисунок 1 – Общий вид лабораторной установки низкотемпературного физического моделирования

Основные задачи, решаемые с помощью рассматриваемой автоматизированной моделирующей установки следующие:

- контроль, регулирование и управление механизмами, системами и процессом в целом;
- обеспечение согласованной работы оборудования;
- диагностика и мониторинг оборудования;

- предотвращение аварийных ситуаций;
- сбор и хранение информации о ходе эксперимента;
- анализ и предварительная обработка информации.

Рассмотрим основные функциональные возможности установки. Компрессором 1 в подогреватель 2 подается сжатый воздух, где настраивается требуемая температура воздуха, поступающего по соединительным каналам 7 в реактор-осцилятор 14. При этом для контроля температуры и давления воздуха в устройстве 2 установлены электронные датчики 3 и 4. Для измерения расхода воздуха на канале 7 предусмотрены балансировочный кран с электроприводом 8 и электронный расходомер 5. В баке-аккумуляторе для воды 10 установлен подогреватель, а на соединительном канале 11 необходимая для контроля аппарата 12.



- 1 – компрессор; 2 – подогреватель воздуха; 3 – датчик температуры;
 4 – датчик давления; 5 – электронный расходомер; 6 – отсечной клапан;
 7, 11, 15, 17, 19, 22, 24 – соединительный канал; 8, 12 – кран с электроприводом;
 9, 13, 18 – ручной балансировочный кран; 10 – бак-аккумулятор;
 14 – реактор-осцилятор; 16 – рафинирующий отстойник; 20 – реактор-гранулятор; 23 – котел-утилизатор; 25 – аппарат кипящего слоя

Рисунок 2 – Принципиальная схема автоматизированной лабораторной установки низкотемпературного физического моделирования

Таким образом, в реактор 14 по каналам 7 и 11 через имеющиеся на их концах сопла под давлением вода (имитирующая сырье, возможно подмешивание твердых взвешенных частиц) и воздух (имитирующий окислитель или топливо), где при взаимодействии встречных потоков газа образуется

ядро уплотнения, а во взаимодействии с вертикальным потоком конденсированной фазы образуется мелкодисперсная газовзвесь.

Свойства этого образовавшегося ядра в зависимости от технологического режима можно изменять при помощи установленной арматуры 9 и 13 на соединительных каналах 7 и 11. Благодаря эффекту критического стечения двухфазной жидкости через эффект аэродинамического запираания соединительного канала создается высокий потенциал давления. Образовавшаяся газовзвесь по соединительному каналу 15 поступает в рафинирующий отстойник 16.

В нижней части рафинирующего отстойника 16 предусмотрен сливной канал 17 с ручным балансировочным краном 18. Канал 17 используется для отвода воды (имитирующая жидкий металл). С боковых сторон агрегата 16 установлены датчики температуры и давления. Образовавшаяся в верхней части рафинирующего отстойника 16 легкая пена совместно с газом поступают по соединительным каналам 19 в реактор-гранулятор 20. Образовавшаяся в нижней части гранулятора 20 рыхлая пена (шлак), по соединительному каналу 21 удаляется из агрегата. Поступающий из рафинирующего отстойника 16 в реактор-гранулятор 20 отходящий газ транспортируется по соединительному каналу 22 в котел-утилизатор 23, где происходит отдача теплоты от отходящего газа к теплообменным контурам котла-утилизатора. По водяным контурам агрегата 23 осуществляется циркуляция охлаждающей воды, в результате чего отбирается тепловая энергия от труб котла-утилизатора. Интенсивность циркуляции воды по контурам агрегата 23 изменяется путем подачи электрической энергии на насос, установленный на гидравлическом контуре котла-утилизатора, что влияет на температуру отходящего газа.

По соединительному каналу 24 отходящий газ поступает в аппарат кипящего слоя 25, который в общем виде состоит из трех основных частей: цилиндрического корпуса, подовой и купольной решеток. Такие аппараты изготавливают под конкретно поставленную задачу.

Система автоматизации лабораторной установки состоит из двух подсистем: контроля и регулирования подачи газов; контроля и управления шихтоподачей.

«Мозгом» установки является программируемый логический контроллер ПЛК-150 (ПЛК) фирмы ОВЕН. Данный контроллер обладает рядом преимуществ, одно из них – отсутствие операционной системы и в связи этим возможность работы по любому нестандартному протоколу, широкие возможности самодиагностики, возможность «горячей» замены программы, встроенный аккумулятор и часы реального времени. ПЛК конфигурируется персональным компьютером посредством интерфейса RS-485 и программного комплекса CoDeSys [3].

Отметим, что в системе измеряются температура, избыточное давление и дифференциальное давление (расход). В связи с этим в установке используются: датчики избыточного давления ОВЕН ПД100–ДИО,6–311–1,0; датчики дифференциального давления Элемер АИР–10/М1–ДД 1457; термопары ОВЕН ДТПЛ 204–00.40/0,6. Для регулирования расхода реагентов используется электропривод с отсечным клапаном.

Также необходимо выделить две подсистемы: верхнего уровня и нижнего уровня.

Первая подсистема связывает между собой серверный ПК, клиентские ПК и ПЛК. Связь в данной системе происходит по протоколу ModbusTCP с использованием интерфейса RJ-45 (локальная сеть). Использование интерфейса RJ-45 позволяет любому компьютеру в локальной сети (клиентские ПК) иметь доступ к HMI-системе автоматизации. Для доступа такого рода необходима установка SCADA-системы Aggregatena на клиентских компьютерах. Использование локальной сети в качестве сети передачи данных является причиной использования протокола ModbusTCP (модификация Modbus для сетей на основе TCP/IP). Таким образом, эта подсистема позволяет осуществлять дистанционный многопользовательский доступ к данной лабораторной установке.

Вторая подсистема – нижнего уровня – объединяет элементы автоматики (ПЛК, МВА-8, датчики). Связь в этой системе производится по протоколу Modbus с использованием интерфейса RS-485. Использование интерфейса RS-485 в наши дни является стандартом для организации связи между электронными средствами автоматизации.

Таким образом, для передачи данных с нижнего уровня на верхний существует три альтернативных канала передачи данных. Основным каналом связи выступает интерфейс RJ-45 (локальная сеть), а в качестве резервных – интерфейсы COM и USB. При обрыве связи по одному из каналов OPC-сервер произведет автоматическое переключение на резервный канал (очередность переключения следующая – RJ-45, COM, USB). Данное решение позволяет существенно повысить надежность системы.

Далее необходимо отметить, что в информационной подсистеме передаются либо контролируемые, либо настроечные параметры.

К контролируемым параметрам относятся: температура в нагревательном контуре (подогрев воздуха); давление в нагревательном контуре (подогрев воздуха); температура в буферном баке; давление в буферном баке; температура в реакторе-осцилляторе; давление в реакторе-осцилляторе; температура в рафинирующем отстойнике в 3 точках; давление в рафинирующем отстойнике в 3 точках; температура в реакторе-грануляторе; давление в реакторе-грануляторе в 2 точках.

К *настроечным параметрам* относятся: расход и температура реагентов, поступающих в реактор-осциллятор.

Контролируемые параметры передаются от датчиков в виде аналогового сигнала в модуль аналогового ввода МВА-8, после чего МВА-8 преобразует аналоговый сигнал в цифровой и передает данные в ПЛК. Затем OPC-сервер принимает данные от ПЛК. Из OPC сервера данные попадают в базу данных (в режиме OPCNDA – HistoricalDataAccess) и в HMI(в режиме OPCDA – DataAccess).

Необходимость накапливать исторические данные в режиме OPCNDA обусловлена тем, что наличие большого количества таких данных делает возможным проведение различного рода исследований, связанных с процессами,

протекающими в агрегатах типа СЭР. Для создания и ведения баз данных «исследование» и «протокол» применена система управления базами данных, отвечающая требованиям современных сетевых СУБД (MS SQL). Передача данных в СУБД осуществляется с помощью LectusModbus OPC/DDE сервера. Данные из ПЛК–150 (под управлением CoDeSys) через интерфейс Ethernet по протоколу Modbus TCP поступают в ПК, а именно в программу LectusModbus OPC/DDE сервер. Далее используют спецификацию OPC DA (DataAccess) данные в реальном времени поступают в SCADA–систему отображаясь на экранной форме (фрагмент показан мониторе рис. 1) и записываются в БД (MS SQL).

Важную роль в системе играют настроечные параметры – они определяют характер работы агрегатов. Набор значений настроечных параметров по умолчанию, необходимый для работы комплекса, записан в памяти ПЛК. При необходимости, настроечные параметры могут быть изменены из НМІ. Эти изменения передаются через OPC–сервер в ПЛК. В свою очередь ПЛК изменяет настроечные параметры по умолчанию на заданные.

С помощью Scada-системы возможно организовать дистанционный доступ к данной установке с удаленного компьютера, что позволит сделать эту установку многопользовательской.

Пример исследование газодинамических режимов и локализованных зон

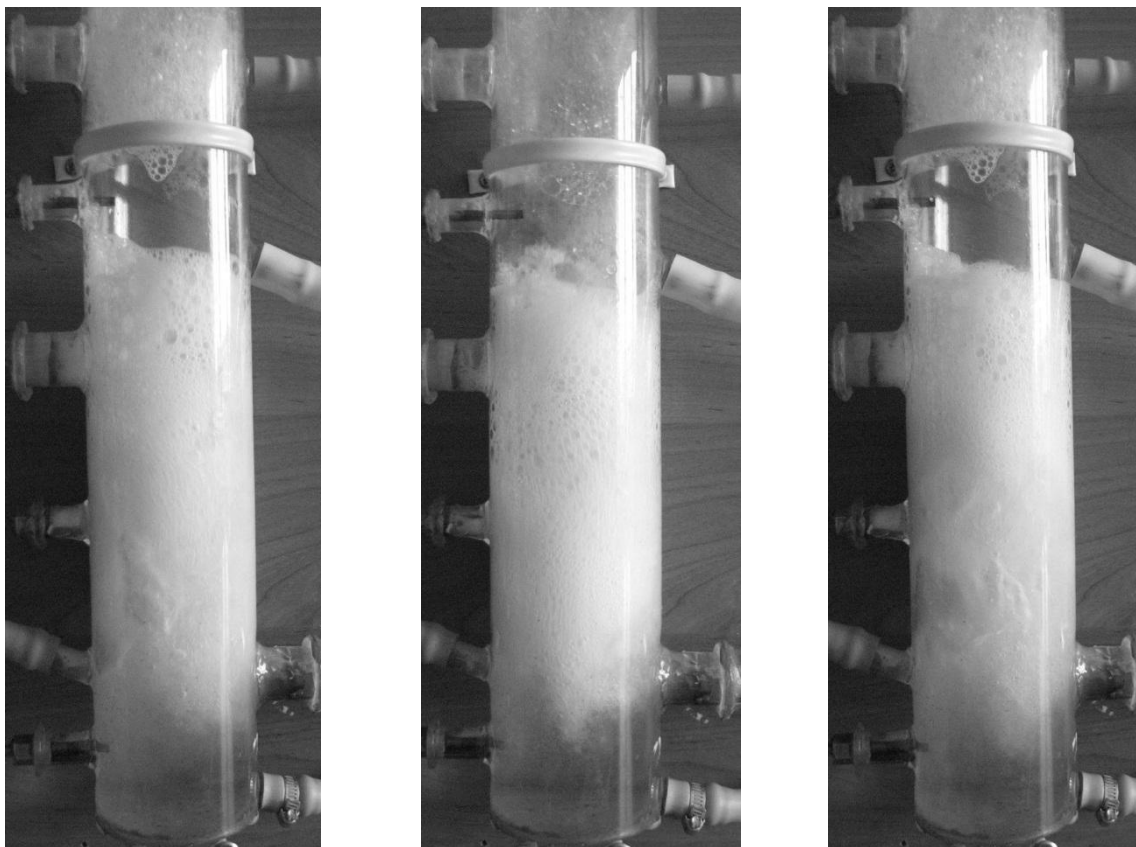
Рафинирующий отстойник является одной из основных частей нового агрегата и представляет собой реактор колонного типа. Изучение механизма газогидродинамических процессов, имеющих место в рафинирующем отстойнике, позволяет определить ряд важных параметров процесса, таких как время пребывания веществ в агрегате, коэффициент скольжения конденсированной фазы относительно газа и т.д. В силу специфики объекта прямое наблюдение и постановка экспериментов затруднена, поэтому большое значение приобретает вопрос разработки математической модели протекающих в реакторе газогидродинамических и химических процессов.

В теории гидродинамики многофазных сред существует большое число подходов к описанию процессов движения и взаимодействия многофазных сред в вертикальных и горизонтальных каналах. Существующие модели с той или иной степенью адекватности описывают лишь отдельные аспекты гидродинамических процессов, а кинетические модели процессов практически не связаны с гидродинамическими процессами. До сих пор не удалось создать комплексную модель, полностью учитывающую все особенности механизма процессов в вертикальных колонных реакторах.

Реакторы колонного типа представляют собой аппараты, в которых реакции между газофазными и жидкофазными реагентами протекают в процессе прохождения газа в виде газовых пузырей через слой жидкости или эмульсии. Рафинирующий отстойник можно отнести к прямоточным реакторам колонного типа с восходящим движением потоков. По типу массообменных процессов он является реактором диффузионного смешения. Для дифференциации гидродинамических режимов, возникающих в колонных реакторах при увеличении

скорости газового потока, принята следующая классификация: пузырьковый (барботажный) режим, турбулентно-инерционный режим или пенный режим, волновой или пробочный режим.

На описанной на рисунке 1 и 2 лабораторной установке был проведен ряд экспериментов с целью изучения гидродинамических режимов и измерения скорости движения фаз. Изучение режимов производилось путем визуальных наблюдений и видеосъемки с регистрацией входных и выходных параметров с помощью рассмотренной на рис. 2 автоматизированной системы контроля. В качестве несущей среды используется воздух, а конденсированную фазу моделирует вода, в которую могут добавляться различные пенообразователи. Для наблюдения направления движения потоков жидкости и газа, а также получения количественных данных по скоростям движения дисперсной фазы в поток добавлялись пластиковые шарики и различные дисперсные материалы. Экспериментальные исследования подтвердили существование известных из литературных источников гидродинамических режимов движения среды в вертикальном колонном реакторе (рисунок 3).



а)

б)

в)

а – барботажный режим; б – турбулентно-инерционный режим;
в – пробочный (снарядный) режим

Рисунок 3 – Гидродинамические режимы течения

Для барботажного режима характерно почти однородное распределение пузырей по размерам при их равномерном радиальном распределении. Диаметры пузырей невелики и их коалесценция практически не происходит. Скорость движения пузырей почти соответствует скорости газа. С увеличением линейной скорости газа газожидкостная смесь переходит в турбулентный режим движения. Скорость коалесценции газовых пузырей существенно возрастает, дисперсия газа в жидкости перестает быть гомогенной, наблюдается нестационарный характер движения потока. Для турбулентного режима характерно одновременное присутствие в системе мелких и крупных пузырей, доля последних возрастает с увеличением скорости газа. Также можно наблюдать неравномерность распределения газовых пузырей не только по высоте, но и по сечению. В этом случае пузыри большего диаметра образуются и движутся вверх, увеличиваясь в диаметре, по центральной части установки, а более мелкие пузыри отбрасываются на периферию и сползают вниз, и затем в нижних слоях снова увлекаются газом в центральный поток, т.е. возникают большие турбулентные вихри. Большие пузыри приобретают форму сферических капсул с очень мобильной и пластичной поверхностью. Их диаметры зависят от диаметра агрегата, физико-химических свойств жидкости и т.д. При еще более высоких скоростях большие пузыри стабилизируются, что приводит к образованию газовых пробок, диаметры которых достигают диаметра агрегата. Таким образом, возникает пробочный режим движения. При этом газовые пузыри увлекают за собой часть жидкости, что приводит к возникновению циркуляции жидкой фазы. Считается, что данный режим возникает в реакторах с малым поперечным сечением (0,15-0,20 м) и на промышленных установках возникнуть не сможет, т.к. их размеры значительно больше поперечного сечения лабораторной установки.

На основе обработки экспериментальных данных (видеосъемка и визуальные наблюдения), а также по результатам промышленных экспериментов были установлено, что характер движения среды на разных горизонтах установки существенно различается. Были выявлены 5 зон с различными режимами движения. Представленные выше результаты являются лишь одним из примеров моделирования, более подробный анализ которых заслуживает отдельного рассмотрения.

Основным же преимуществом созданной автоматизированной моделирующей установки является возможность экспериментальной проверки адекватности создаваемых математических моделей с последующим переносом результатов на реальные процессы. При этом следует заметить, что наблюдаемые на физической модели даже эффекты качественного плана в ряде случаев могут помочь в раскрытии внутренних механизмов процессов, не поддающихся непосредственному наблюдению.

Литература

1. Цымбал В.П., Мочалов С.П., Калашников С.Н. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. В 3-х.: Ч. III. Примеры реализа-

ции идей и принципов синергетики: учеб. пособие / под ред. В.П. Цымбала; СибГИУ – Новокузнецк, 2005. – 264 с.

2. Оленников А.А., Цымбал В.П. Варианты и оценка эффективности использования вторичных энергоресурсов для агрегатов жидкофазного восстановления // Изв. вузов. Черная металлургия. 2008. – № 6. – С. 43–51.

3. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с., ил.

УДК 519.876.5:662.61

Мочалов С.П. Математическое моделирование динамических процессов горения в вихревой топке суспензионного водоугольного топлива из отходов углеобращения / С.П. Мочалов, И.А. Рыбенко, П.С. Мочалов, С.Н. Калашников // Известия вузов. Черная металлургия. – 2012. – № 8. – С. 6–9.

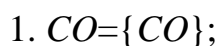
Каменный уголь является одним из главных и наиболее дешевых энергоносителей, используемых для сжигания в теплогенерирующих агрегатах различных отраслей промышленности и в жилищно-коммунальном хозяйстве страны. Высокие требования потребителей к качеству угля способствуют развитию углеобогащения, что влечет за собой накопление тонкодисперсных отходов, которые не реализуются и сбрасываются в отвалы.

Наиболее эффективным направлением утилизации отходов углеобогащения является их сжигание в виде водоугольных суспензий (ВУТ) [1]. В этом случае обеспечивается использование всего добытого угля по его прямому назначению, а образующаяся при сжигании зола является хорошим строительным материалом. Одним из перспективных направлений в этой области является технология сжигания суспензионного водоугольного топлива (ВУТ) в вихревой топке.

При построении динамической математической модели физико-химических процессов в вихревой топке при сжигании суспензионного угольного топлива топочная камера и процесс горения рассматривались в следующем приближении:

- в топку подаются два входных потока;
- с первым входным потоком поступает суспензионное угольное топливо, состоящее из органической части, золы, влаги и летучих компонентов;
- со вторым входным потоком поступает воздух;
- гетерогенная смесь в топочном пространстве состоит из двух фаз: конденсированной и газовой.

Физико-химические процессы, протекающие при горении суспензионного водоугольного топлива, можно представить в виде следующих реакций: выделение летучих (реакции 1 – 5), испарение влаги (6), горение летучих (7 – 9), горение органического углерода (10), взаимодействие углерода с водяным паром (11) [2]:



2. $CO_2 = \{CO_2\}$;
3. $CH_4 = \{CH_4\}$;
4. $H_2 = \{H_2\}$;
5. $N_2 = \{N_2\}$;
6. $H_2O \rightarrow \{H_2O\}$;
7. $\{CO\} + 1/2\{O_2\} = \{CO_2\}$;
8. $\{H_2\} + 1/2\{O_2\} = \{H_2O\}$;
9. $\{CH_4\} + 2\{O_2\} = \{CO_2\} + 2\{H_2O\}$;
10. $C + 1/2\{O_2\} = \{CO\}$;
11. $C + \{H_2O\} = \{CO\} + \{H_2\}$.

При формировании дифференциальных уравнений динамики изменения состава газовой фазы в топочной камере принято, что изменение объемной концентрации i -го вещества внутри топочного пространства определяется скоростью поступления данного вещества в агрегат, изменением концентрации внутри объема в результате протекания химических реакций и скоростью отвода вещества из топки с отходящими газами.

$$\frac{dn_i^{об}}{d\tau} = \dot{n}_i^{ex} / V - \sum_{j=1}^K W_j - v_{газа} \cdot n_i^{об} / V, \quad (2)$$

где $n_i^{об}$ – объемная концентрация i -го вещества внутри топочной камеры, моль/м³;

\dot{n}_i^{ex} – приход i -го вещества с входным потоком, моль/с;

V – объем топочной камеры, м³;

$\sum_{j=1}^K W_j$ – суммарная скорость всех химических превращений i -го

вещества в единице объема, моль/м³·с;

K – количество химических реакций с участием i -го вещества;

$v_{газа}$ – объемная скорость выходного газового потока, м³/с;

Изменение концентраций веществ в объеме топки в единицу времени в результате химических превращений определяется разностью скоростей образования и расходования этих веществ в результате протекания всех химических реакций (1–11):

$$\begin{aligned} \frac{dn_{H_2O}}{d\tau} &= -W_6; & \frac{dn_{\{CO\}}}{d\tau} &= W_1 + W_{10} - W_7 + W_{11}; \\ \frac{dn_{\{H_2\}}}{d\tau} &= W_4 - W_8 + W_{11}; & \frac{dn_{\{CH_4\}}}{d\tau} &= W_3 - W_9; \\ \frac{dn_{\{CO_2\}}}{d\tau} &= W_2 + W_7 + W_9; & \frac{dn_{\{H_2O\}}}{d\tau} &= W_6 + W_8 + 2W_9 - W_{11}; \\ \frac{dn_{\{N_2\}}}{d\tau} &= W_5, & \frac{dn_C}{d\tau} &= -W_{10} - W_{11}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{dn_{\{O_2\}}}{d\tau} = -0,5W_7 - 0,5W_8 - 2W_9 - 0,5W_{10};$$

где W_1-W_{11} – скорости химических реакций 1–11.

Для произвольной реакции $\nu_A A + \nu_B B = \nu_C C + \nu_D D$ скорость равна [3]:

$$W = kn_A^{\nu_A} n_B^{\nu_B}, \quad (4)$$

где $n_A; n_B$ – объемные концентрации реагирующих веществ, моль/м³·с;
 k – константа скорости химической реакции, 1/с.

$$k = k_0 e^{-\frac{E_0}{RT}}, \quad (5)$$

где k_0 – коэффициент, зависящий только от природы реагирующих веществ, 1/с;

E – энергия активации для реакции, кДж/моль;

R – универсальная газовая постоянная, кДж/моль·К;

T – температура, К.

Обозначив константы скоростей реакций 1–11 через k_1-k_{11} соответственно, получаем систему дифференциальных уравнений изменения состава газовой фазы во времени внутри топочной камеры в результате сжигания суспензионного водоугольного топлива:

$$\frac{dn^{ob}_{H_2O}}{d\tau} = \dot{n}^{ex}_{H_2O} / V - k_{rot} k_6 \dot{n}^{ob}_{\{H_2O\}}$$

$$\frac{dn^{ob}_{\{CO\}}}{d\tau} = \dot{n}^{ex}_{\{CO\}} / V - \nu_{\text{азад}} n^{ob}_{\{CO\}} / V + k_{rot} (k_1 \dot{n}^{ob}_{\{CO\}}_{\text{лем}} - k_7 \dot{n}^{ob}_{\{CO\}} \dot{n}^{0,5ob}_{\{O_2\}} + k_{10} \dot{n}^{ob}_C \dot{n}^{0,5ob}_{\{O_2\}} + k_{11} \dot{n}^{ob}_C \dot{n}^{ob}_{\{H_2O\}})$$

$$\frac{dn^{ob}_{\{CO_2\}}}{d\tau} = \dot{n}^{ex}_{\{CO_2\}} / V - \nu_{\text{азад}} n^{ob}_{\{CO_2\}} / V + k_{rot} (k_2 \dot{n}^{ob}_{\{CO_2\}}_{\text{лем}} - k_7 \dot{n}^{ob}_{\{CO_2\}} \dot{n}^{0,5ob}_{\{O_2\}} + k_9 \dot{n}^{ob}_{\{CH_4\}} \dot{n}^{2ob}_{\{O_2\}})$$

$$\frac{dn^{ob}_{\{H_2\}}}{d\tau} = \dot{n}^{ex}_{\{H_2\}} / V - \nu_{\text{азад}} n^{ob}_{\{H_2\}} / V + k_{rot} (k_4 \dot{n}^{ob}_{\{H_2\}}_{\text{лем}} - k_8 \dot{n}^{ob}_{\{H_2\}} \dot{n}^{0,5ob}_{\{O_2\}} + k_{11} \dot{n}^{ob}_C \dot{n}^{ob}_{\{H_2O\}})$$

$$\frac{dn^{ob}_{\{H_2O\}}}{d\tau} = -\nu_{\text{азад}} n^{ob}_{\{H_2O\}} / V + k_{rot} (-k_5 \dot{n}^{ob}_{H_2O} + 2k_9 \dot{n}^{ob}_{\{CH_4\}} \dot{n}^{2ob}_{\{O_2\}} + k_8 \dot{n}^{ob}_{\{H_2\}} \dot{n}^{0,5ob}_{\{O_2\}} -$$

$$- k_{11} \dot{n}^{ob}_C \dot{n}^{ob}_{\{H_2O\}})$$

$$\frac{dn^{ob}_{\{CH_4\}}}{d\tau} = \dot{n}^{ex}_{\{CH_4\}} / V + k_{rot} (k_3 \dot{n}^{ob}_{\{CH_4\}}_{\text{лем}} - k_9 \dot{n}^{ob}_{\{CH_4\}} \dot{n}^{2ob}_{\{O_2\}})$$

$$\frac{dn^{ob}_C}{d\tau} = \dot{n}^{ex}_C / V + k_{rot} (-k_{10} \dot{n}^{ob}_C \dot{n}^{0,5ob}_{\{O_2\}} - k_{11} \dot{n}^{ob}_C \dot{n}^{ob}_{\{H_2O\}})$$

$$\begin{aligned} \frac{dn^{ob}_{\{O_2\}}}{d\tau} &= \dot{n}_{\{O_2\}}^{ex}/V - v_{газа} n^{ob}_{\{O_2\}}/V + k_{rot} (-0,5k_6 \dot{n}_{\{CO\}}^{ob} \dot{n}^{0,5ob}_{\{O_2\}} - 0,5k_7 \dot{n}_{\{H_2\}}^{ob} \dot{n}^{0,5ob}_{\{O_2\}} - \\ &- 2k_9 \dot{n}_{\{CH_4\}}^{ob} \dot{n}^{2ob}_{\{O_2\}} - 0,5k_{10} \dot{n}_C^{ob} \dot{n}^{0,5ob}_{\{O_2\}}) \\ \frac{dn^{ob}_{\{N_2\}}}{d\tau} &= \dot{n}_{\{N_2\}}^{ex}/V + k_{rot} (k_5 \dot{n}_{\{N_2\}}^{об}_{лет}) - v_{газа} n^{об}_{\{N_2\}}/V \\ \frac{dG_{зола}}{d\tau} &= \dot{G}_{зола}^{ex}/V - v_{газа} mG_{зола}/V, \end{aligned}$$

где k_{rot} – коэффициент, учитывающий вихревую составляющую в процессе горения топлива.

Уравнение теплового баланса процесса горения суспензионного угольного топлива имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{d\tau} &= -\Delta H_6 k_6 n^{об}_{H_2O} - \Delta H_7 k_7 n^{об}_{\{CO\}} - \Delta H_8 k_8 n^{об}_{\{H_2\}} - \Delta H_9 k_9 n^{об}_{\{CH_4\}} - \\ &- \Delta H_{10} k_{10} n^{об}_C - \Delta H_{11} k_{11} n^{об}_C - \dot{Q}_{пот} - \dot{Q}_{газа}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\Delta H_6 - \Delta H_{11}$ – тепловые эффекты химических реакций (1–11), кДж/моль;

$\dot{Q}_{пот}$, – тепловые потери в окружающую среду, кДж/с;

$\dot{Q}_{газа}$ – теплосодержание выходного потока, кДж/с.

Левая часть уравнения теплового баланса представляет собой скорость ассимиляции тепла в вихревой адиабатической топке, правая часть включает суммарное поглощение (выделение) тепла при протекании всех химических реакций, связанных с превращением веществ, скорость тепловых потерь в окружающую среду и скорость и скорость уноса тепла с отходящими газами.

Теплосодержание выходного потока определили следующим образом:

$$\dot{Q}_{газа} = v_{газа} \rho_{газа} C_P^{бвх} (t - t_0). \quad (8)$$

Тогда уравнение теплового баланса имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dt}{d\tau} &= -k_t t + (-\Delta H_6 k_6 n^{об}_{H_2O} - \Delta H_7 k_7 n^{об}_{\{CO\}} - \Delta H_8 k_8 n^{об}_{\{H_2\}} - \\ &\Delta H_9 k_9 n^{об}_{\{CH_4\}} - \\ &- \Delta H_{10} k_{10} n^{об}_C - \Delta H_{11} k_{11} n^{об}_C - \dot{Q}_{пот} - v_{газа} \rho_{газа} C_{Pгаза} (t - t_0)) / \rho_{вх} V C_{Pвх}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $\rho_{газа}$, $\rho_{вх}$ – плотности отходящего газа и входного потока, кг/м³;
 $C_{Pгаза}$, $C_{Pвх}$ – теплоемкости отходящего газа и входного потока, кДж/моль·град;

k_t – коэффициент, учитывающий инерционность теплообмена внутри вихревой топки, 1/с.

В качестве примера на рисунке 1 представлены результаты расчета изменения состава газовой фазы от времени внутри топочной камеры при различных расходах воздуха и топлива. Разработанная математическая модель ис-

пользуется при разработке режимов сжигания и создания систем управления автоматизированными энерго-генерирующими комплексами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Забродин А.Г. Перспективы применения водотопливных эмульсий и устройство для обеспечения их сжигания // Современ. технологии в машиностроении: сб. ст. XIII междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: ПДЗ, 2009. – С. 202.
2. Основы практической теории горения / под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергия, 1973. – 264 с.
3. Панченков Г.М., Лебедев В.П. Химическая кинетика и катализ. – М, Изд-во МГУ, 1974. – 591 с.

Буинцев В.Н. **Математическая модель и тренажер процесса получения агломерата** / В.Н. Буинцев, И.А. Рыбенко // Творческое наследие В. Е. Грум-Гржимайло: история, современное состояние, будущее : сборник докладов международной научно-практической конференции, 27–29 марта 2014 г. – Екатеринбург : УрФУ, 2014. – Ч. 1 : Творческое наследие В. Е. Грум-Гржимайло. – С. 110–114. – Библиогр.: с. 114 (2 назв.).

Агломерация является заключительной операцией в комплексе мероприятий по подготовке железных руд к доменной плавке. Главная цель этой операции состоит в том, чтобы превратить мелкий рудный концентрат в более крупные и прочные куски – агломерат, использование которого в доменной плавке обеспечивает формирование слоя шихты хорошей газопроницаемости и большую площадь реакционной поверхности, что является неперенным условием высокопроизводительной работы доменной печи.

Основным заданием доменщиков для технологического персонала агломерационного производства является выпуск агломерата с заданным химическим составом и показателями качества в течение длительного интервала времени, например, месяц, два и более. Выполнение этих условий связано с большими трудностями из-за постоянно меняющегося химического состава шихтовых материалов и ограничением их запасов на складах. Кроме того, необходимо поддерживать заданный объем производства при минимальной себестоимости готового агломерата.

Для целей оптимального расчета расходов шихтовых материалов при заданных параметрах готового агломерата разработана математическая модель, которая может быть использована в режиме советчика, а также в качестве тренажера для обучения студентов или технического персонала аглофабрики.

Модель расчета агломерационной шихты включает балансовые модели по входным потокам, веществам [1, 2] и по основности, а также регрессионную модель по прочности.

Управляемыми параметрами процесса являются массы входных потоков. Входными потоками при производстве агломерата являются железорудный концентрат и руда, марганцевая руда, окалина, шлам, известняк, топливо и др.

Необходимо определить такое соотношение масс входных потоков, при котором будет получен агломерат заданного химического состава и качества. Расчет ведем на 1 т готового агломерата.

Уравнение материального баланса имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n M_i - \sum_{i=1}^n \Delta_1 - \sum_{i=1}^n \Delta_2 = 1000, \quad (1)$$

где M_i – масса i -ого компонента шихты, кг;

Δ_1 – потеря массы шихты в результате выгорания горючего углерода, серы, удаления гидратной влаги, диоксида углерода, карбонатов и летучих веществ, кг/т;

Δ_2 – изменение массы шихты в результате протекания окислительно-восстановительных процессов, кг/т;

n – количество входных потоков.

Изменение массы шихты рассчитывается следующим образом:

$$\Delta_1 = \sum_{i=1}^n \frac{K_S \cdot S_i + ППП_i}{100} \cdot M_i, \quad (2)$$

$$\Delta_2 = k \cdot (10(FeO)_{агл} - \sum_{i=1}^n \frac{FeO_i}{100} \cdot M_i), \quad (3)$$

где K_S – коэффициент удаления серы из i -ого компонента шихты;

S_i – содержание серы в i -ом компоненте шихты, %;

$ППП_i$ – потери при прокаливании i -ого компонента шихты, кг;

k – коэффициент, учитывающий изменение массы шихты в результате протекания окислительно-восстановительных реакций;

FeO_i – содержание оксида железа в i -ом компоненте шихты, %;

$FeO_{агл}$ – содержание оксида железа в готовом агломерате, %.

Основность агломерата рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n CaO_i}{\sum_{i=1}^n SiO_{2i}}. \quad (4)$$

Концентрация вещества R в готовом агломерате определяется следующим образом:

$$R_{агл} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \cdot M_i}{1000},$$

где R_i – содержание вещества R в i -ом компоненте шихты, %;

$R_{агл}$ – содержание вещества R в готовом агломерате, %.

Прочность агломерата рассчитывается по уравнению регрессии, полученному на основании экспериментальных данных:

$$Б.П. = 625,09 - 6,31C_{III} - 432,74B - 0,056Fe_{агл} + 4,96C_{III}B \quad (5)$$

где Б.П. – прочность агломерата (барабанная проба), %;

C_i – доля углерода шихте, %;

B – основность;

Fe_{agl} – содержание железа в агломерате, %.

Критерием оптимизации является себестоимость агломерата, которая рассчитывается по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i M_i + O\Phi + P\Phi + A + TP + OT + \mathcal{E} \quad (6)$$

где $O\Phi$ – затраты на содержание основных фондов;

$P\Phi$ – ремонтный фонд, руб/т;

A – амортизация; руб/т;

TP – транспортные расходы, руб/т;

OT – фонд оплаты труда, руб/т;

\mathcal{E} – затраты на электроэнергию, руб/т;

C_i – цена i -ого шихтового материала, руб/т.

Разработанная модель реализована в тренажере «Агломератчик» в виде нескольких рабочих окон, в рамках которых выполняются следующие учебно-тренировочные задачи. В первом окне (рисунок 1) выполняется расчет шихтовки для заданных параметров агломерата. Эта же часть программы может быть использована в качестве советчика начальнику смены, осуществляющего расчет шихтовки на смену. Во втором окне рассчитываются варианты загрузки агломерационной ленты и гранулометрический состав шихты для достижения заданной производительности агломашины. Третье окно (рисунок 2) предназначено для обучения студентов или технологического персонала осуществлять расчет оптимальных расходов шихтовых материалов в рамках ограниченного набора входных потоков с точки зрения минимизации себестоимости готового агломерата заданного качества и количества.

Тренажер используется в учебном процессе при выполнении лабораторных работ студентами металлургических специальностей в рамках дисциплины «Моделирование систем».

Химический состав компонентов шихты, %

Компонент	Fe	Mn	P	S	FeO	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	ППП	W
Концентрат	61.14	0.31	0.024	0.187	25.81	6.77	0.98	4.26	1.07	1.69	9.00
Руда	48.07	0.39	0.065	1.310	21.73	15.66	4.32	4.98	2.73	4.66	3.00
Окалина	71.30	0.35	0.039	0.020	66.08	1.82	0.38	0.62	1.07	0.95	7.00
Шланг	40.00	0.30	0.035	0.423	17.50	11.70	3.25	12.20	2.00	14.50	10.00
Марг. руда	14.60	25.72	0.030	0.470	2.81	27.81	4.80	1.93	0.57	4.91	7.50
Известь	0.95	0.01	0.011	0.051	0	1.13	0.28	45.84	7.17	43.55	3.00
Топливо	0.76	0	0.080	0.500	0	7.02	3.51	0.54	0.24	86.20	6.50

Идеальный расход топлива, окалины и шланта, кг/т агломерата:
 Топливо: 56 Окалина: 35 Шланг: 23

Задание на качество агломерат:
 Fe, %: 57 Mn, %: 0.40 FeO, %: 12.75 Основность: 1.25

Идеальные расходы компонентов на сырую массу, кг/т агломерата:
 Концентрата - 853.08 Руды - 25.48 Марганцевой руды - 4.1 Известняка - 105.03 Прочность агломерата, % - 71.49

Компоненты шихты	Расход вл. ших.		W, %	Расход сжк. ших.		Fe		Mn		P		S		FeO		SiO2		Al2O3		CaO		MgO	
	кг/т	%		%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг
Смесь концентратов	929.86	78.07	9.00	853.08	61.14	521.6	0.31	2.6	0.024	0.2	0.187	1.6	25.81	220.16	6.77	57.75	0.98	8.36	4.26	36.34	1.07	9.13	
Смесь руд	26.24	2.2	3.00	25.48	48.07	12.2	0.39	0.1	0.065	0.02	1.310	0.33	21.73	5.54	15.66	3.99	4.32	1.1	4.98	1.27	2.73	0.7	
Окалина	37.45	3.14	7.00	35	71.30	25	0.35	0.1	0.039	0.01	0.020	0.01	66.08	23.13	1.82	0.64	0.38	0.13	0.62	0.22	1.07	0.37	
Шланг	25.3	2.12	10.00	23	40.00	9.2	0.30	0.1	0.035	0.01	0.423	0.1	17.50	4.03	11.70	2.69	3.25	0.75	12.20	2.81	2.00	0.46	
Марганцевая руда	4.41	0.37	7.50	4.1	14.60	0.6	25.72	1.1	0.030	0	0.470	0.02	2.81	0.12	27.81	1.14	4.80	0.2	1.93	0.08	0.57	0.02	
Известь	108.18	9.08	3.00	105.03	0.95	1	0.01	0	0.011	0.01	0.051	0.05	0	0	1.13	1.19	0.28	0.29	45.84	48.15	7.17	7.53	
Топливо	59.64	5.01	6.50	56	0.76	0.4	0	0	0.080	0.04	0.500	0.28	0	0	7.02	3.93	3.51	1.97	0.54	0.3	0.24	0.13	
Итого задано	1191.08	99.93		1101.69		570		4		0.29		2.39		253		71.33		12.8		89.17		18.34	
Состав агломерата						57		0.4		0.03		0.02		12.75		7.13		1.28		8.92		1.83	

Рисунок 1 – Диалоговое окно «Шихтовка агломерата заданного качества»

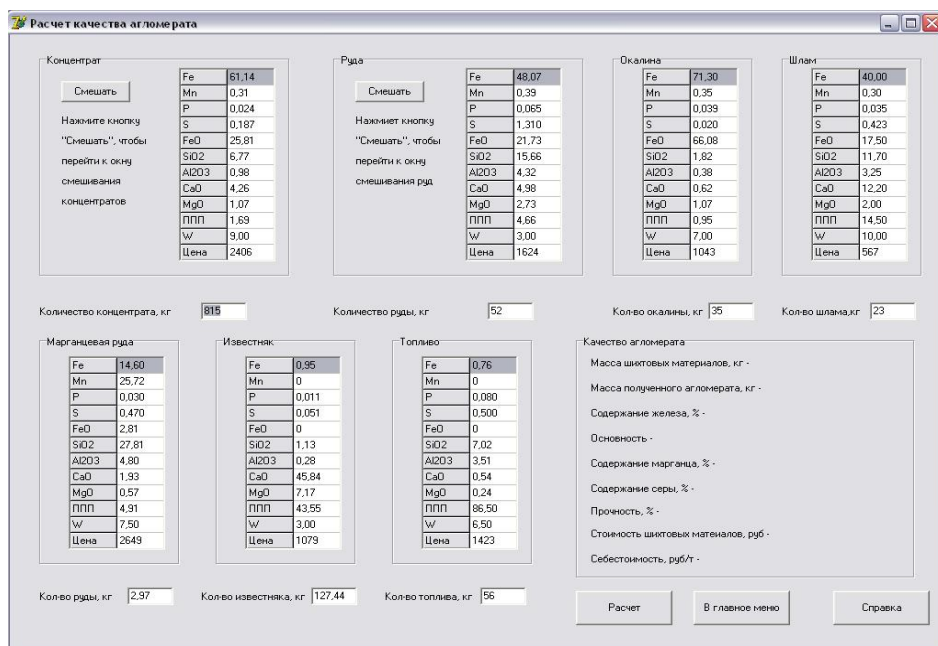


Рисунок 2 – Диалоговое окно «Поиск оптимальных режимов, обеспечивающих заданное количество и качество агломерата»

Список использованных источников

1. Рыбенко И.А. Методика и система расчета и оптимизации статических стационарных режимов технологических процессов / И.А. Рыбенко, С.П. Мочалов, П.С. Мочалов // *Металлургия: технологии, управление, инновации, качество*: тр. XVII Всерос. науч.-практ. конф. / под ред. Е.В. Протопопова ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 29–32.
2. Рыбенко И.А. Технология моделирования и оптимизации стационарных режимов производственных процессов / И.А. Рыбенко, С.П. Мочалов // *Векторы развития современной науки: Мат. Международной науч.-практ. конф. Ч. II.* – Уфа: РИО ИЦИПТ, 2014. – С. 145–150.

УДК 662.61

Ермакова Л.А. **Механизм и кинетика горения капель суспензионного водоугольного топлива** / Л.А. Ермакова, С.П. Мочалов, И.А. Рыбенко // *Вестник КемГУ.* – 2012. – № 4 (52). – Т. 2. – С. 164–169.

В настоящее время наряду с добычей быстрыми темпами развивается обогащение угля. Неизбежным результатом процесса обогащения является получение отходов – мелких частиц угля и минеральных включений. Значительное количество отходов углеобогащения накоплено и складировано на обогатительных фабриках, что загрязняет окружающую среду. Одним из способов утилизации отходов углеобогащения является их сжигание в вихревой адиабатической топке в виде водоугольной суспензии (ВУТ) [1], что позволяет не только использовать весь добытый уголь для получения тепла, но и решает экологические проблемы угледобывающих регионов.

Для разработки технологии сжигания ВУТ в вихревой адиабатической топке требуется изучить механизм и кинетику горения капель суспензионного водоугольного топлива.

При описании кинетики горения водоугольного топлива необходимо учитывать основные отличия процесса воспламенения и горения капли суспензии от горения пылевидного твердого топлива. Для описания процесса горения капель ВУТ можно предложить следующую физико-химическую схему процесса, состоящую из нескольких независимых параллельно-последовательных стадий (рисунок 1):

- *на поверхности капли* – мгновенный прогрев и поверхностное испарение влаги, низкотемпературная активация реакционной поверхности топлива перед его воспламенением, горение микрочастиц угля на поверхности капли;
- *внутри капли* – постепенный прогрев капли, испарение влаги из внутренней области капли, выход летучих и горение летучих около капли ВУТ, перенос микрочастиц угля к поверхности капли с образованием ксеносферы (полной сферы), горение микрочастиц угля в результате химической реакции с кислородом воздуха и водяным паром.

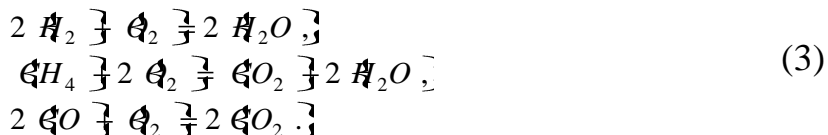
При попадании капли ВУТ в горячую топочную камеру происходит практически мгновенный прогрев поверхности капли и испарение влаги с поверхности капли. Внутри капли происходит её постепенный прогрев, и с повышением температуры начинает происходить процесс испарения влаги из внутренней области капли. Процесс испарения влаги описывается следующим уравнением:



При повышении температуры поверхности капли начинается процесс термической деструкции (пиролиза) органической массы на поверхности капли ВУТ, сопровождающийся выделением летучих веществ. При продвижении температурного фронта вглубь капли начинается процесс выхода летучих веществ из внутренней области капли. Основными уравнениями, описывающими выход летучих, являются следующие:

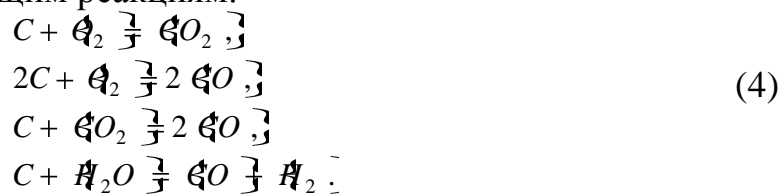


Выделяющиеся горючие газообразные компоненты вступают в реакцию с кислородом воздуха:



За счет водяного пара, образующегося при испарении влаги с поверхности, происходит низкотемпературная активация угольных микрочастиц на поверхности капли ВУТ до их воспламенения, что приводит к существенному снижению температуры воспламенения ВУТ. В процессе горения летучих происходит нагрев капли и воспламенение коксового остатка микрочастиц угля на её поверхности. На поверхности протекают реакции горения за счет взаимодействия углерода с кислородом воздуха, водяными парами и CO_2 , полученным

как от выхода летучих, так и от горения летучих и коксовой основы топлива. Горение происходит по следующим реакциям:



Процесс горения на поверхности капли ВУТ происходит параллельно с процессами испарения влаги и выхода летучих из глубины капли. В ходе процесса испарения влаги и выхода летучих осуществляется вынос микрочастиц угля из глубины капли к ее поверхности, результате чего капля ВУТ превращается в полую сферу.

Данная схема процесса подтверждается результатами исследования золы, взятой из вихревой топки после сжигания в ней ВУТ. Как видно из стереомикроскопического исследования, результаты которого показаны на рисунке 2, зола представляет собой полые сферические частицы или обломки сферических частиц, что полностью соответствует описанному выше механизму.

Величина константы скорости реакции при чисто кинетическом режиме, как известно, выражается следующим образом:

$$K = k_0 e^{-E/RT} \tag{5}$$

Сложность определения значений кинетических констант k_0 и E для процессов воспламенения и горения угля связана с тем, что полученные опытным путем значения отражают не только химическую природу процессов горения, так как при их определении существенное влияние оказывали процессы диффузии, внутреннего реагирования, выделения и горения летучих [2]. Реакционная способность топлива определяется набором последовательно-параллельных процессов (скоростью испарения влаги, скоростью выделения и горения летучих веществ, горением коксового остатка), которые подчиняются кинетическим закономерностям [3–4]. Эта схема усложняется протеканием таких процессов, как хемосорбция кислорода, газификация нелетучего остатка диоксидом углерода и водяным паром, превращение химических компонентов минеральной части топлива. Поэтому при определении кинетических констант горения топлива необходимо учитывать механизм сложных физико-химических реакций выгорания топлива с разделением процесса горения на несколько относительно независимых последовательно-параллельных многостадийных этапов [4].

В таблице 1 представлены кинетические характеристики процесса горения, которые использовались при определении режимов горения ВУТ.

Расчет режимов горения суспензионного водоугольного топлива в вихревой адиабатической топке производился по методике описанной в работе [7]. С целью исследования и оптимизации режимов горения ВУТ были рассчитаны параметры процесса горения суспензионного угольного топлива при расходе воздуха от 260 до 540 м³/ч для расхода ВУТ 90 кг/ч (75 л/ч) при зольности 32,3 % и влажности 39,2 %. При увеличении расхода воздуха с 260 до 3600 м³/ч в газовой фазе остается CO. Температура увеличивается с 1170 до 1495 °С, дальнейшее увеличение расхода воздуха приводит к полному дожиганию CO, в газовой фазе начинает появляться кислород, температура отходящих газов падает до 1157 °С.

Таблица 1 – Кинетические характеристики процесса горения ВУТ

Процесс	Реакция	k_0 , 1/с, (м/с)	E , $\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	Источник
Испарение влаги	$H_2O = H_2O$	4,01	18,6	[3]
Выход летучих веществ	$CO_2 = CO_2$	1100	71,7	[3]
	$H_2 = H_2$	45	92,4	[3]
	$CH_4 = CH_4$	140000	106,9	[3]
	$CO = CO$	450	71,5	[3]
Горение летучих веществ	$2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$	250	41,1	[4]
	$CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$	230	50,3	[4]
	$2 CO + O_2 \rightarrow 2 CO_2$	222	42,7	[4]
Горение коксовой составляющей	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	1,6	181,86	[2]
	$2C + O_2 \rightarrow 2 CO$	2,3	$9,3 \cdot 10^{-3}$	[5, 6]
	$C + CO_2 \rightarrow 2 CO$	3,149	130	[5, 6]
	$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	1,33	147	[5, 6]

Список использованных источников

1. Мочалов С.П. Отходы углеобогащения – как сырьевая база для создания энергогенерирующих комплексов / С.П. Мочалов, А.А. Ивушкин, Л.П. Мышляев // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Научоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» г. Новокузнецк. – 2011. – С. 36–39.
2. Виленский Т.В. Динамика горения пылевидного топлива: Исследование на электронных вычислительных машинах / Т.В. Виленский, Д.М. Хзмалян. – М.: Энергия, 1978. – 248 с.
3. Бойко Е.А. Комплексное исследование и учет реакционной способности энергетических углей в практике моделирования и совершенствования теплотехнических процессов и оборудования: автореферат дис.... д-ра техн. наук. Сиб. федер. ун-т. – Красноярск, 2008. – 43 с.
4. Бойко Е. А. Диффузионно-кинетическая модель горения и тепломассообмена пылеугольных частиц в газовом потоке / Е.А. Бойко, С.В. Пачковский // ХТТ. 2008. №6. С. 3–13.
5. Kobayashi, H., Howard, J.B., and Sarofim, A.F. 1977. “Coal Devolatilization at High Temperatures”, 18th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA. – p. 411.
6. Smoot, D.J., and Smith, P.J. 1985. “Coal Combustion and Gasification”, The Plenum Chemical Engineering series, New York.
7. Разработка научно-технических основ для создания технологии подготовки и сжигания суспензионного угольного топлива, приготовленного на основе отходов углеобогащения и пилотного образца автоматизированного энергогенерирующего комплекса. Отчет о НИР, Этап 3. СибГИУ, Новокузнецк, 2011.

Научно-справочное издание

Цымбал Валентин Павлович
Мочалов Сергей Павлович

Научные школы СибГИУ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, СОЗДАНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ И НОВЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И АГРЕГАТОВ НА ПРИНЦИПАХ САМООРГАНИЗАЦИИ

Редактор Я.А. Селякова
Технический редактор Е.Н. Болабонова
Компьютерная верстка: Суставова Анна Игоревна
Оленников Алексей Александрович

Подписано в печать 13.02.2015 г.
Формат бумаги 60 × 84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 3,96. Уч.-изд.л. 4,22. Тираж 100 экз. Заказ 37

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ
