Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ

Труды 3-й Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-летию кафедры «Информационные технологии в металлургии»

22–25 марта 2011 г.

Новокузнецк
2011

УДК 519.876.5:669(06)
М 744

М 744 МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ : труды 3-й Всероссийской научно-практической конференции / под редакцией С.П. Мочалова, В.П. Цымбала ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2011. – 363 с.

В сборнике трудов представлены результаты научных исследований и практических работ по созданию математических моделей, теоретических основ наукоемких и ресурсосберегающих технологий в металлургии, разработке прикладного программного обеспечения, инструментальных программных средств и комплексов, внедрению автоматизированных информационных и управляющих систем.

Сборник ориентирован на инженерно-технических работников предприятий, научных работников, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

Редакционная коллегия:

д.т.н., профессор С.П. Мочалов; д.т.н., профессор В.П. Цымбал;
к.т.н., доцент В.И. Кожемяченко; к.т.н., доцент В.Н. Буинцев

Под редакцией д.т.н., профессора С.П. Мочалова,
д.т.н., профессора В.П. Цымбала

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2011

ОТЗЫВЫ ВЫПУСКНИКОВ И СТУДЕНТОВ

Шарапов Борис Николаевич,
начальник управления систем управления производством
Регионального Центра Разработки «Сибирь»
ООО «ЕвразТехника»

«Что произвело наибольшее впечатление за годы обучения на кафедре по специальности «Математическое обеспечение и применение ЭВМ в металлургии» (1981 – 1987):

1. **Практическая направленность обучения.** Постоянно задавался вопрос, какую пользу может та или иная идея или разработка принести предприятию.
2. **Взрослое и доверительное отношение к студенту.** Был создан студенческий вычислительный центр (СВЦ). Все вопросы организации его работы - распределения машинного времени, модернизации - возложены были на меня, первого руководителя СВЦ, простого студента, готового дневать и ночевать рядом с самой на тот момент передовой техникой.
3. **Теоретическая подготовка в вопросах черной металлургии** максимально глубокая, в одном потоке с металлургами. Это дало возможность выпускникам полноценно пойти по пути технолога. Но те, кто пошел по пути ИТ-специалиста, особенно в роли разработчика новых автоматизированных систем с благодарностью вспоминали эту подготовку все последующие годы практической работы.»

Столярова Светлана Владимировна,
выпускница 1986 года,
первый набор на новую специальность

« ... Обучение по специальности «Математическое обеспечение и ЭВМ в металлургии» в 1981 - 1986 гг. можно сравнить с освоением целины в СССР. Ведь первопроходцам всегда не легко, но очень интересно. Квалификация и профессионализм преподавателей родной кафедры, их заинтересованность в подготовке востребованных временем специалистов, стало благодатной почвой для десятков способных юношей и девушек. Я всегда с особой теплотой и благодарностью вспоминаю студенческие годы, своих одногруппников и преподавателей. Без сомнения, годы учебы стали начальной школой взрослой жизни. Спасибо всем за науку... »

Ложкина Юлия Юрьевна,
аспирантка

«Совсем недавно я окончила университет и поступила в аспирантуру. Говорю с гордостью: моя кафедра является одной из лучших в университете, на ней работают замечательные преподаватели. Кафедра не просто выпускает высококвалифицированных специалистов, а позволяют каждому студенту проявить себя как личность: в творчестве, спорте, коллективных делах.»

Лаптева Елена,
студентка (ИСМ-08)

«Честно говоря, на кафедру ИТМ идти учиться я не планировала. Зато сейчас я ни разу не пожалела, что судьба распорядилась именно таким образом: мне выдался шанс учиться здесь и я рада этому! Наши преподаватели большие мастера в своем деле – одни из самых лучших программистов во всем университете, и я рада перенимать знания именно от них. Тем более, что наша профессия востребована на рынке труда.»

Кочкин Артём,
студент (ИСП-08)

«IT звучит гордо и отчасти даже поэтично. Но не только красивое название, но и очень положительные рекомендации друзей о кафедре помогли мне сделать выбор. Дружеская атмосфера, необходимый уют и неограниченные возможности для самореализации – всё это есть на кафедре ИТМ. Здесь всегда бурлит жизнь: мощная тяга к познаниям не уступает яркой творческой деятельности! В составе кафедры выдающиеся специалисты в данной области, способные решать самые неординарные проблемы. Они всегда отзывчивы, дружелюбны и заинтересованы в своих студентах. Наверное, кафедра ИТМ – это маленький оазис, где зарождаются самые яркие студенческие воспоминания.»

УДК 378.1.09

30 ЛЕТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАФЕДРЫ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ»

Цымбал В.П.

СибГИУ, г. Новокузнецк

***1. Истоки и предпосылки*.**

11 сентября 1980 г. приказом министра о высшем образовании 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) в составе В.П. Цымбала, В.Н. Буинцева, А.Ф. Сакуна, А.Г. Падалко, Н.А. Калиногорского, С.П. Мочалова явился родоначальником создания тренажерных систем в металлургии.

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

Рисунок 1 – Основатели лаборатории тренажеров и новой кафедры

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 вычисли-

тельной 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 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.

Рисунок 2 – Основатель кафедры 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. Сакун., 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 кафедре появился 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., преподавательский состав кафедры начал расширяться за счет своих же выпускников: И.А. Рыбенко, С.Ю. Красноперов, В.И. Кожемяченко, Л.А. Ермакова - выпускники групп МО, которые защитили кандидатские диссертации и стали преподавателями на своей кафедре. Инженер В.Ю. Климов другие выпускники кафедры вносит 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 (рисунок 3) 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; 2 старших преподавателя М.Б. Малинов, В.Ю. Климов, а также представитель производства - начальник бюро постановки задач регионального центра разработки «Сибирь» ООО «ЕвразТехника» Турчанинов Е.Б., к.т.н., доцент.

Учебно-вспомогательный персонал кафедры: заведующая лабораторией Л.Г. Смирнова, инженер Суставова А.И., старший лаборант Л.Н. Мотовилова, учебный мастер М.И. Жданов.

По состоянию на октябрь 2009 года на кафедре обучаются 13 аспирантов: А.А. Олейников, Д.П. Шувариков, А.С. Носков, С.И. Конев, А.Ю. Коробкин, Е.И. Гудукин, Д.О. Ширшов, И.А. Куксов, И.А. Колесников, Д.Е. Прокудин, А.Е. Шендриков, Д.Л. Денисенко, аспирант А.М. Огнев (до этого окончивший магистратуру) в декабре 2006 года досрочно защитил кандидатскую диссертацию. В ноябре 2009 и 2010 годов поступили аспиранты: М.М. Милованов, М.Ю. Тучков, П.С. Мочалов.

В декабре 2009 года успешно и в срок защитил кандидатскую диссертацию аспирант А.А. Олейников.

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

Рисунок 3 – Состав кафедры в 2009 году

Возглавляет кафедру ее основатель Валентин Павлович Цымбал, д.т.н., профессор, заслуженный деятель наук РФ, действительный член Международной Академии наук Высшей школы.

Цымбал В.П. с 1960 года непрерывно трудится в СибГИУ (СМИ, СибГГМА), аспирант (1960-1963 гг.), ассистент, старший преподаватель (1962-1964 гг.), доцент (1964-1972 гг.), профессор (1972-1981 гг.), заведующий кафедрой (с 1981 г. по настоящее время). По состоянию на 2009 г. опубликовал более 320 научных трудов, пять книг. В.П. Цымбал является автором более 40 изобретений и патентов, подготовил 11 кандидатов и двух докторов технических наук.

3. Этапы научного становления кафедры.

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 устройства, а также тренажер «Сталевар» проработали в мартеновском производстве много лет. Реализация разработанных под руководством С.П. Мочалова в 1980-1981годах математических моделей и оптимальных режимов продувки в конверторном производстве Запсибметкомбината (при участии Р.С. Айзатулова, К.М. Шакирова и сотрудников кафедры), позволила повы-

сить выход жидкой стали почти на 1%, что дало очень большую экономию средств (около 1 млн. рублей в ценах тех лет).

На основе созданных на кафедре математических моделей и проведенных психолого-педагогических исследований в 1975-1985 годах впервые в металлургии были разработаны тренажеры «Сталевар», «Конвертерщик» и др., которые внедрены во многих учебных заведениях и 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 появилось новое научное направление: «Разработка математических моделей и новых металлургических процессов на основе принципов самоорганизации». На основе идей теории самоорганизации был создан новый металлургический процесс и агрегат (рисунок 4).

Рисунок 4 – Технологическая схема агрегата типа СЭР

В 1988 году он был запатентован в СССР, а в 1993-98 гг.- в 9-ти зарубежных странах. Преимуществами нового металлургического 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 направление работы кафедры является разработка информационных систем различного назначения. В качестве примера можно отметить системы «Корпоративная система информационного сопровождения учебного процесса» (разработана совместно с другими подразделениями университета) и «Корпоративная система 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 были сочетать в себе не только знание металлургических дисциплин, но и, что самое важное, уметь воплотить свои идеи и математические модели на компьютере, применить возможности ЭВМ в металлургии.

Всего с 1986г. по 1999 г. на кафедре подготовлено около 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 Бидхамтонском университете США и в апреле 2007 года там же защитил диссертацию на ученое звание доктор философии по специальности «Электроинжениринг».

В декабре 1998 года в СибГИУ по инициативе профессора В.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 дополнивший 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 подготовки магистров этого же направления по магистерской программе «Автоматизированные обучающие системы».

Потребители оценили способность наших выпускников доводить свои разработки до программных продуктов.

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

На кафедре имеется аспирантура по трем научным специальностям:

– 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»;

– 05.16.02 - «Металлургия черных и цветных металлов»;

– 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.

Научное общение и сотрудничество.

Кафедра сотрудничает с рядом научно-исследовательских институтов, в том числе: Институт теоретической и прикладной механики (г. Ново-

сибирск); Институт теплофизики СО РАН (г. Новосибирск); Институт комплексных проблем гигиены и профзаболеваний (г. Новокузнецк) и др.

В рамках празднования 20-тилетия 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, благодаря спонсорской помощи НИФ «Синергетис», 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 конференция «Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии». Выпущен сборник трудов объемом около 400 страниц, который также хранится на Web–сервере.

5. Смотрим в будущее.

Важным направлением работы кафедры по учебно-методической работе является создание электронных учебников и освоение новых методов преподавания с использованием интерактивных технологий, особенно с учетом предстоящего перехода на стандарты третьего поколения. Разработаны оптимизированные по затратам новые учебные планы для двух выпускаемы на кафедре специальностей. Большая заслуга здесь принадлежит ученому секретарю кафедры Рыбенко Инне Анатольевне. Уже получена лицензия на подготовку магистров по направлению «Информационные системы», магистерская программа «Информационные системы в образовании»-научный руководитель профессор С.П. Мочалов. Подготовлена еще одна магистерская программа. Уже выпущены первые бакалавры по направлению «Информационные системы». Кафедра и здесь продолжает работать на опережение.

В рамках реконструкции лабораторной базы создается система автоматизированного эксперимента на основе установки низкотемпературного моделирования (доценты А.Г. Падалко, А.А. Оленников, магистрант С. Гуревич).

Главным направлением исследований кафедры в настоящее время является доработка и внедрение 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 кампаний «Метрополь» на финансирование внебюджетной части этой программы. В случае успешной реализации этой программы будет создан в сотрудничестве с «Сибэлектротермом» 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.

УДК 669.181

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ КАФЕДРЫ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ» НА ОСНОВЕ ГРАФ-ИНДЕКСА

Цымбал В.П., Мочалов С.П., Рыбенко И.А., Смирнова Л.Г.

СибГИУ, г. Новокузнецк

***Аннотация**. В этой обзорной статье мы продолжаем традицию представления основных научных работ кафедры Информационных технологий в металлургии в виде графа-индекса научных ссылок.*

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 представленном на рисунке 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 зарождения 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 здесь плодотворными оказались 1981-86 год (узел 27), когда было создано более 10-ти 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 1978-91 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-техноло-

Рисунок 1 – Граф-индекс 1962-2003 годы

гами 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-integuetion 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 нашей 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 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. ун-та /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 выпущенной кафедрой под редакцией С.П. Мочалова большой сборник (500 стр.) трудов, по результатам организованной кафедрой всероссийской конференцией «Математическое моделирование и новые информационные технологии». В этом сборнике (узел 104) опубликовано около 30 работ сотрудников кафедры совместно со специалистами Запсиба, посвященным отмеченным выше вопросам. Этот сборник как ссылка из графа-индекса помещен 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).

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: Малинов М.Б., Шендриков А.Е., Костин И.В., Давыдкин А.А., Юрченко И.Ю., Куричев А.С., Минеев Д.В., Крюков С.И., Карпенко С.В., Гудукин Е.И., Шипилов С.А., Огнев А.М., Васильева И.Г.

Обозначив узел, относящийся к упомянутому молодежному сборнику, через 115, с него мы и начинаем описание следующей новой ветви графа, относящейся к 2004-2009 годам (рисунок 2). Следующий узел 116 относится к монографии-учебному пособию «Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях» - авторы В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников. Это издание состоит из трех частей:

Рисунок 2 –Продолжение графа-индекса 2004-2009 годы

Рисунок 2 – Продолжение графа-индекса 2004-2009 годы

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 поэтому 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: Ермакова Л.А., Буинцев В.Н., Шипилов С.А., Мочалов С.П., Рыбенко И.А., Малинов М.Б., Цымбал В.П., Огнев А.М.. Калашников С.Н., Гудукин Е.Н., Калашникова М.С.

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: Мочалов, Крюков, Малинов, Климов, Кожемяченко, Ермакова, Давыдкин, Калашников, Цымбал, Шувариков, Бегишева, Гродина.

Вопросы автоматизации и алгоритмизации технологических процессов(узел 119) рассмотрены в выпущенном в г. Магнитогорске (МГТУ) межвузовском сборнике, в представленных в нем публикациях участвовали: Падалко, Красноперов, Цымбал, Мочалов, Рыбенко, Горбунов, Шендриков.

Обзор основных трудов 2004 года мы завершаем важным патентом «Способ получения металлов из рудных материалов и агрегат для его осуществления»(узел 120), а 2005 год начинается узлом 121, соотносящимся с докладом Цымбала В.П. Мочалова С.П. на конгрессе литейщиков в г. Новосибирске: «Новые возможности для реконструкций литейных цехов…».

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

В узле 124 представлены труды конференции по управлению отходами, где помещены доклады Цымбала В.П., Мочалова С.П., Огнева А.М., Рыбенко И.А., Кожемяченко В.И., посвящены 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 наших сотрудников (Красноперов С.Ю., Падалко А.Г., Мочалов С.П., Цымбал В.П., Огнев А.М., Соколов В.В., Буинцев В.Н., Шипилов А.С.), 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: Цымбал В.П., Ивахин А.П., Калашников С.Н., Мочалов С.П. Красноперов С.Ю., Сакун А.Ф.. Падалко А.Г.

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

В сборнике «Наука и молодежь …» (узел 128) помещены статьи магистрантов и студентов (Гудукин Е.И., Кусков И.А., Бегишева М.А., Гродина З.В.), выполнивших под руководством Цымбала В.П. 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 опубликовано 28 докладов сотрудников нашей кафедры. Не имея возможности перечислить здесь всех докладчиков, отсылаем читателей к сайту кафедры ИТМ - http:www.sibsiu.ru/itm.

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

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

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

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

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

Год 2007 начинается узлом 135, которому соответствует серия пяти электронных учебников: Павлова Л.Д., Кондратова О.А., Мочалов П.С., Лактионов С.А., Мочалов С.П., Шувариков Д.П.

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

Узел 137 – две статьи Милованова М.М., Мочалова С.П., 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 Огнев А.М., Оленников А.А., Цымбал В.П., Мочалов С.П.

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

Год 2008 начинается с узла 140 – Электронные учебники «Математическое моделирование сложных систем в металлургии» и «Введение в теорию самоорганизации». Авторы: Цымбал В.П., Гродина З.В., Огнев А.М., Шувариков Д.П.

Узел 141 – статьи Цымбала, Мочалова, Оленникова об использование вторичных энергоресурсов и создание энерго-металлургического комплекса на основе агрегата СЭР.

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

С узлом 143 сопоставлены 3 статьи аспиранта Оленникова А.А. (рук. Цымбал В.П.), связаны с моделированием и программное обеспечение системы утилизации тепла от агрегата СЭР.

Узел 144 – статья Голодовой М.А., Рожихиной И.Д., Дмитриенко В.И., Рыбенко И.А., посвящена 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. Авторы Цымбал В.П., Мочалов С.П., Оленников А.А., Огнев А.М.

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

Узел 147 соответствуют 3 доклада на VII Всероссийской конференции «Системы автоматизации …», посвященных синергетическому подходу

при проектировании новых металлургических процессов и оптимизации систем энергоутилизации.

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

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

Таким образом, в этом графе-индексе нам удалось обобщить 149 научных работ за период с 1962 по 2009 годы. При этом использован следующий подход. На графе и при описании узлов отмечались, прежде всего, фамилии авторов и основное направление работ. Навигация по этим работам сжато представлена в списке литературы.

Навигация трудов, представленных в узлах графа

115. Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Тр. всеросс. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып. 7. Ч.II. - Новокузнецк, 2003.- С. 281-282, 282-288, 288-291, 291-294, 294-296, 297-298, 298-301, 302-303, 304-305, 306-307, 308-309, 310-311, 312-313, 314-315, 374-376.
116. Цымбал В.П. Модели и механизмы самоорганизации. Часть 1. Термодинамический подход к самоорганизации / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, С.Н. Калашников. - Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2004.-170с.

    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. - Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2004.-275с.

    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. - Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2005.-300с.
117. Информационные технологии в экономике, науке и образовании: Труды 4-й Всероссийской научно-практической конференции. Бийск, 2004.-С.53-54, 55-57, 94-95, 116-117, 126-128, 135-136, 178-181, 182-183, 186-188, 199-201.
118. Обучающе-тренинговые компьютерные дидактические системы и технологии в сфере технического образования. Сб. науч. тр./ Под ред. С.П. Мочалова: Сибирский государственный индустриальный университет. - Новокузнецк, 2004.-С.3-12, 13-21, 35-45, 46-51, 68-73, 80-90, 113-122, 123-129, 130-140.
119. Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: Межвуз. сб. науч. тр., под ред. Б.Н. Парсункина.- Магнитогорск: МГТУ, 2004.-С.122-123, 231-233, 134-137, 226-230.

120. Патент № 2272849 Россия, 2006. Заявлено 19.07.2004. Опубликовано 27.03.2006. Бюллетень № 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 Международной научно-практической конференции. Посвящается 75-летию СибГИУ. - Новокузнецк, 2005.-С.80-84, 252-261.
125. Металлургия России на рубеже XXI века. Сб. науч. тр. Международной научно-практической конференции. /Под общей редакцией Е.В. Протопопова. Новокузнецк: СибГИУ, 2005, Том II.-С.59-66, 66-69, 70-75, 76-81.
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. Часть 2. Липецк. ЛГТУ, 2005.-С.1-7.
128. Наука и молодежь: проблемы, поиск, решения./ под ред. С.М. Кулакова. Докл. науч. конф. - Новокузнецк: СибГИУ, 2005.-С.27-30, 30-32, 97-99.
129. Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии: Тр. 2-ой Всеросс. науч.-практ. конф.; под общей ред. С.П. Мочалова. -Новокузнецк: СибГИУ, 2006.-С.3-10, 55-57, 62-63, 64-73, 74-76, 94-100, 103-106, 107-115, 116-118, 119-125, 126-129, 165-167, 168-185, 197-200, 224-229, 230-237, 238-239, 240-244, 245-247, 248-256, 266-273, 274-278, 279-283, 305-309, 325-326, 335-339, 347-351, 352-353.
130. Известия вузов. Черная металлургия. 2006. № 4, С. 55-64. №8, С.36-40. № 10, С.48-51.
131. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: учебник для вузов / В.П. Цымбал. – Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2006. – 431с.
132. Металлы Евразии. 2006, № 6, С 78-90.
133. Современная металлургия начала нового тысячелетия.: Науч. тр. 3 межд. науч-техн. конф. 31.10-3.11. 2006 г.-Липецк: ЛГТУ, 2006, Ч 1.-С.41-48, 49-52, 53-62, 67-72, 71-76, 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.- Защищена 27.12.2006.-Новокузнецк. 2006.-143с.
135. Электронный учебник по электротехнике для студентов неэлектротехнических специальностей: учебник; Электронный учебник по физике (раздел «Механика»); Электронный учебник по вычислительной мате-

матике; 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. № 10, С.50-53.
137. Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании:: Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции студентов. Рязань: Рязанский радиотехнический университет, 2007.-С.238-240, 263-265.
138. Современная металлургия начала нового тысячелетия.: Сб. науч. тр. IV междун. науч.-техн. конф., Ч 3.-Липецк, 2007.-С.22-26, 64-67, 102-110.
139. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Сб. науч. тр. VI Всерос. научной конференции. -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. № 5, С129. № 3, С.65, 66, 106.
141. Известия вузов. Черная металлургия. 2008. № 6, С.53-57. Управление отходами - основа восстановления экологического восстановления в Кузбассе / Под. ред. Е.П. Волынкиной: Сб. докл. - Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2008.-С.1-113.
142. Steel in Translation.-2009.-Vol. 39 No 4.-С.310-312.
143. Известия вузов. Черная металлургия. 2009. № 8, С.51-53. №4, С.44-47. Программные продукты и системы.-2009.-№ 4.-С.153-155. Системы управленич и информационные технологии.-2009.-№2.2(36).-С.277-280.
144. Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-15-2009): Докл. 15-й Международной науч.-практ. конф. Иркутск, 5-7 окт. 2009г./ отв. ред. Масленников.-Томск: САН ВШ; В-Спектр, 2009.-С.57-60.
145. Творческое наследие Б.И. Китаева: Тр. Международной науч.-практ. конф.-Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009.-С.94-101, 232-236, 418-422.
146. Современные вопросы теории и практики обучения в вузе: Сб. науч. тр. Вып. 9/ ред. кол. : А.В. Феоктистов (главн. ред.) и др. / Сиб. гос. индустр. ун-т.-Новокузнецк: СибГИУ, 2009.-С.97-104.
147. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Тр. VII всероссийской науч.-практ. конф.-Новокузнецк: СибГИУ, 2009.-С.26-23, 102-113, 446-449.
148. Пат. 2371482 Россия. Заявлено 03.12.2007. Опубликовано 27.10.2009. Бюллетень № 30.
149. 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 8.12.2009.-Новокузнецк, 2009.-140с.

УДК 669.162.28

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ[1]

Спирин Н.А., Новикова Н.В.*, Краснобаев А.В.***

**ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург
*ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск

Конечная цель разработок систем управления технологическими процессами в металлургии – создание системы, обеспечивающей нормальную работу производства в целом при минимальной себестоимости продукции с учетом ограничений, обусловленных требованиями к качеству продукции, технологии и возможностями оборудования. В области управления технологическими процессами в металлургии сегодня необходимо на основе разработки средств получения объективной информации о параметрах технологического процесса и имеющихся возможностей использования средств интеллектуального обеспечения максимально приблизить управление производством к автоматизированному. При анализе работы агрегата его следует рассматривать как управляемую технологическую систему. Для управления должны быть использованы подсистемы измерений, оценивания, хранения, обработки, представления информации, а также интеллектуальные системы управления, включая блок прогнозирования.

Следует отметить особую роль математических моделей. Известный русский академик А. Н. Крылов в 1937 г. еще в период зарождения вычислительной техники и информатики предупреждал, «что если в вычислительное устройств загрузить информационный мусор, то на выходе вычислителя получим также мусор». Последующий опыт показывает, что только использование адекватных моделей разного класса (математических моделей технологических процессов, моделей знаний, моделей распознавания образов, моделей данных и т. п.) может обеспечить успешность и эффективность функционирования информационных систем. Интеллектуальным ядром такой переработки информации являются математические модели технологических процессов.

Итак, использование математических моделей объектов в процессе их функционирования – одна из основных характерных черт современной теории управления. Заметим, что математическое содержание проблемы управления в трудах крупных математиков получило существенное развитие [1–3]. В то же время академик РАН А.А. Красовский совершенно справедливо отмечал, что «… в развитии современной теории управления с точки зрения практики далеко не все обстоит благополучно. Классическую теорию авто-

[1] Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом Федерального агентства по науке и инновациям № 02.740.11.0152.

матического управления в основном создавали инженеры для инженеров. Современную теорию управления создают в основном математики для инженеров и во все большей мере математики для математиков» [1]. Последнее с точки зрения практики вызывает определенное беспокойство. Главное негативное влияние на практическое внедрение методов современной теории управления оказывает масса оторванных от практических потребностей и возможностей работ интересных в математическом отношении, но пока бесплодных в отношении современных приложений. Нельзя отрицать право на существование математической современной теории управления как раздела математики, развивающегося по собственным законам и находящего применение по мере возникновения соответствующих потребностей. Однако такая математическая сторона современной теории управления должна быть достаточно четко выделена по отношению к прикладной ее стороне. Главная проблема заключается в принципиальном игнорировании многими математиками такого фундаментального понятия, как физическая сущность и индивидуальные особенности управляемого объекта [2]. Если на начальном этапе развития классической теории автоматического управления, а в последующем в математической теории оптимального управления, такое абстрагирование от физического содержания, несомненно, было полезным с точки зрения разработки основ теории, то сегодня развитие теории управления требует возврата и учета основополагающих свойств объекта управления, но уже на новом качественном уровне развития современной прикладной теории управления. В современной теории математическое содержание во многом подавляет физическое начало, формальный вычислительный подход не может быть перспективным направлением в развитии прикладной теории управления, несмотря на мощь современной вычислительной техники [2, 3]. Следует особо подчеркнуть, что начавшаяся еще в конце 1960-х годов «компьютерная эйфория», сводящая сложную проблему математического моделирования технологических процессов и синтеза систем управления лишь к вычислительной мощности ЭВМ, полностью себя исчерпала. Этим, вообще говоря, во многом и завершается формально-математический этап развития теории моделирования и управления в XX в. и начинается этап развития физической теории моделирования и управления [3].

Несмотря на информатизацию, развитие вычислительной математики и алгоритмов идентификации, банки сертифицированных (верифицированных) математических моделей остаются слабо заполненными. Это связано с большими интеллектуальными и временными затратами на создание адекватных математических моделей сложных процессов и систем. Для новых процессов и систем высокой сложности это создает большие трудности, так как эти процессы и системы, как правило, не могут функционировать без управления, а математическая модель часто не может быть идентифицирована и сертифицирована без реально функционирующей системы. Методологической основой создания моделей технологических процессов являются общая теория систем и системный анализ [4, 5]. При использовании этой ме-

тодологии модель технологических процессов состоит из математических моделей не только отдельных элементов, но и взаимодействия между элементами и внешней средой, описываемых оператором взаимодействия (взаимосвязи). Каждый элемент математической модели может иметь различную степень детализации математического описания. Важно лишь, чтобы входные и выходные параметры всех элементов модели находились во взаимном соответствии, что обеспечит получение замкнутой системы уравнений математической модели процесса в целом. В идеале математическое описание каждого элемента должно включать уравнения, параметрами которых являются только физико-химические свойства веществ. Однако получить такое фундаментальное описание свойств всех элементов, их взаимосвязей и при существующем уровне знаний и исследований некоторых явлений металлургических процессов в настоящее время не всегда представляется возможным. Это связано еще и с тем чрезвычайным усложнением математического описания свойств элементов, что оно само по себе приводит к резкому усложнению математической модели процесса в целом и, кроме того, вызывает существенные вычислительные трудности при ее реализации. В связи в этим при практическом использовании описанного алгоритма на том или ином уровне детализации приходится применять и эмпирические соотношения.

Проиллюстрируем эти положения на примере доменного процесса. В истории науки и техники отечественные ученые-доменщики оказались пионерами в создании систем автоматического управления технологическими процессами. Работы по формализации методов управления тепловым режимом доменной плавки, начатые в СССР профессорами А. А. Гиммельфарбом, А. Д. Готлибом, Б. И. Китаевым, А. Н. Похвисневым, А. Н. Раммом, В. А. Сорокиным, М. А. Стафановичем, С. В. Шавриным и другими, обеспечили в свое время приоритет в мировой науке и практике. В то же время надежды, связанные с тем, что удастся дать полное математическое описание доменного процесса, не оправдались. Современный уровень математического описания явлений в доменной печи не позволяет вскрыть все тонкости доменного процесса [6–9].

В настоящее время даже при самом строгом теоретическом учете всех особенностей процесса невозможно избавиться от массы коэффициентов, определяемых опытным путем. Из-за вынужденных упрощений (ограничение количества рассматриваемых зон, описание отдельных участков доменной печи, рассмотрение только стационарного состояния) эти модели носят конкретный характер, определяемый поставленными задачами. Составление и решение системы дифференциальных уравнений, описывающих закономерности тепло- и массообмена с учетом кинетики протекающих в объеме печи химических реакций, лежат в основе кинетических моделей доменного процесса [14–17]. Как показывает практика, кинетические модели позволяют решать определенный круг практических задач: получать температурные и концентрационные поля доменной печи при плавке специальных чугунов, вдувании горячих восстановительных газов; оценивать влияние на показате-

ли работы печи таких параметров плавки, как восстановимость, степень металлизации железорудных материалов, реакционная способность кокса; определять общие закономерности динамических характеристик печи по различным каналам. В ряде случаев кинетические модели обогащаются моделями газодинамики, что расширяет область их применимости [8, 12]. При условиях значительного расширения методов численного моделирования и дальнейшего исследования доменного процесса в перспективе появятся реальные предпосылки для использования полных аналитических кинетико-математических моделей доменного процесса с бóльшими возможностями.

В то же время сегодня существуют серьезные проблемы при создании и использовании кинетических моделей этого класса [18], которые сводятся к следующим:

– отсутствие достаточных данных для достоверного описания процессов, протекающих в нижней части печи. Так, нет надежных данных о зависимости скоростей восстановления железа и кремния от температуры, состава шлака и кокса, о коэффициентах теплоотдачи между газом, коксом и жидкими продуктами плавки, не поддается полному математическому описанию продолжительность пребывания чугуна и шлака между горизонтами перехода в жидкое состояние и уровнем фурм;

– проблематичность учета влияния неравномерности распределения компонентов шихты и газа, фракционного состава шихты на ход процессов теплообмена, восстановления окислов, газификации углерода и др.;

– исключительная сложность решения системы нелинейных уравнений математической физики при различных граничных и начальных условиях и др.;

– обязательность введения существенных допущений, положенных в основу моделей этого класса, обусловленных необходимостью предварительного определения кинетических характеристик железорудного сырья и соответствующей параметрической настройки модели для конкретных условий доменной плавки ограничивают их практическую применимость для решения задач текущего анализа, прогноза и управления ходом плавки;

– недостаточная изученность и сложность описания движения шихтовых материалов, расплава в доменной печи.

Данные обстоятельства не позволяют устранить основное противоречие этого подхода, а именно: увеличение сложности модели и числа учитываемых факторов не приводит к повышению надежности результатов моделирования. В силу изложенного можно согласиться с выводом И. Г. Товаровского [9], что «…для прогноза выходных параметров плавки на данном этапе развития целесообразно использовать относительно простые зависимости для тепломассообмена, газомеханики и других процессов, совмещенные с балансовыми уравнениями, результаты которых легко контролировать данными практики». При этом найдет применение натурная информация о работе доменной печи, появится возможность адаптации модели в темпе с процессом, а результаты моделирования можно будет легко контролировать

по фактическим (натурным) данным. Подчеркнем дополнительно, что одна из главных проблем математического моделирования доменного процесса связана с разрешением противоречий между сложностью моделируемого процесса и необходимостью решения технологических задач в одном темпе с процессом за заданный интервал времени с использованием реально имеющейся информации. Как показывает практика, с помощью полных моделей доменного процесса решить эту проблему не удается. Определение конечных результатов доменной плавки с использованием прогнозных моделей этого класса дает не бóльшую достоверность, чем некоторые балансовые модели. В то же время они незаменимы при анализе новых вариантов технологии доменной плавки, в частности при использовании новых видов железорудного сырья, определении оптимальных значений факторов при изменении конструктивных и режимных параметров работы печей [14–17].

В основу модели теплового состояния современной доменной плавки положены закономерности теплообмена, разработанные Б. И. Китаевым и развитые его учениками. Эти закономерности, научно обоснованные в фундаментальных работах по теплообмену в шахтных и доменных печах [10–13]. Перспективным для решения рассматриваемых задач оказался натурно-математический подход, разработанный в Сибирском индустриальном университете [10–13]. Применительно к доменному процессу этот подход использован Б. И. Китаевым и его учениками Е. Л. Сухановым и С. А. Загайновым [12, 13, 19, 20]. Выполненными ими исследованиями установлено, что модель теплового состояния доменной печи в целом пригодна для решения задач контроля и анализа теплового режима этого агрегата. Однако были выявлены и недостатки: особенности дутьевого, газодинамического и шлакового режимов, неравномерность распределения материалов и газов не находили должного отражения в этой модели, что ограничивало область ее практического применения. Используя методологию системных исследований [11], последующее совершенствование модели доменного процесса путем учета особенностей газодинамического, дутьевого и шлакового режимов, реально доступной информации о работе доменной печи, значительно расширили возможности этой модели [19, 21, 22]. Следует особо отметить, что при разработке моделей этих подсистем, параметрической идентификации широко использовались достижения других ведущих отечественных научных школ в области исследования и математического моделирования доменного процесса, а также хорошо проверенные практикой эмпирические уравнения. Однако основой моделей этих подсистем остаются фундаментальные, физические представления о процессах доменной плавки [6, 7, 9, 18, 21].

Оценивая в целом состояние реально функционирующих систем оптимального управления технологическими процессами и их комплексами в металлургии, следует констатировать, что и здесь имеется внутренняя причина слабого внедрения такого класса систем, особенно для сложных систем [21–25]. Необходимо объединение современной теории оптимального управления с математическими моделями технологических процессов, основу ко-

торых составляют фундаментальные закономерности, отражающие физику технологических процессов в металлургии. Такой подход возвращает теорию управления к естественным источникам ее возникновения, но на новом, естественно-математическом витке ее развития [2]. Именно примером физического подхода в использовании теории оптимального управления является решение задач управления топливно-энергетическими ресурсами в доменном производстве [8, 21, 22, 24]. Скептическое отношение к упрощенным моделям ряда исследователей, сложность и незавершенность кинетических моделей доменного процесса, по-видимому, – основные причины того, что методы оптимизации применительно к управлению доменной плавкой и совершенствованию доменного производства практически не используются.

Несмотря на многообразие математических моделей доменного процесса, большинство их расчетное, т. е. позволяют исследовать методом перебора один или несколько заранее выбранных вариантов работы печи, но не дают возможности аналитически рассчитывать область оптимальных параметров доменного процесса. Выбор таких параметров зачастую проводится на основании практических данных, интуитивных соображений. Наибольшие сложности связаны с разработкой методов количественной оценки влияния того или иного ресурса на показатели плавки в конкретной технологической ситуации. Поскольку общее количество топливно-энергетических ресурсов (мощность источников) задано, то эти рекомендации должны учитывать и общий лимит ресурсов, выделяемый цеху. В результате решения такой задачи оптимизации сделан важный вывод, что наибольшая экономия кокса в группе печей (или наименьший перерасход его в случае отрицательного влияния того или иного ресурса) будет при таком распределении этого ресурса, когда небольшое его изменение на каждой из печей вызывает одинаковое изменение расхода кокса на всех печах [9, 25]. Данный подход скорее относится к области методологии постановки подобного рода задач. Он позволяет сформулировать только общие направления и принципы оптимального распределения ресурсов, в частности, в доменном производстве, которые, несомненно, представляют определенный методологический интерес, однако получение количественных результатов для конкретных режимных и конструктивных параметров работы печей проблематично. В предложенных методах не учитываются, как правило, индивидуальные для каждой из печей цеха ограничения на тепловой, дутьевой и газодинамический и шлаковый режимы плавки, нарушения которых возможны при выполнении рекомендаций по распределению ресурсов. В качестве математического аппарата решения задач оптимизации используется метод множителей Лагранжа, который обычно эффективен в случае ограничений типа строгого равенства. Учет ограничений типа неравенств, что неизбежно при учете фактических ситуаций, значительно усложняет решение этим методом.

Таким образом, при постановке и решении задач оптимизации распределения топливно-энергетических ресурсов требуется не только изучение характеристик, описывающих влияние изменений условий плавки на техни-

ко-экономические показатели работы отдельных печей, но и выполнение детального анализа для математического описания как внешних, так и внутренних ограничений, учета различных функций кокса в доменной плавке. При выборе основных ограничений используются физическое обоснование и классификация лимитирующих факторов при использовании комбинированного дутья в доменные печи, представленные в работах [11–13]. В общем случае технологические условия, ограничивающие применение природного газа и технологического кислорода, сводятся к следующему:

– обеспечение достаточного количества тепла в нижней и верхней ступенях теплообмена;

– обеспечение полной конверсии углеводородных добавок в районе фурменных очагов;

– стабилизация газодинамического режима слоя шихтовых материалов;

– обеспечение высокой степени использования восстановительного потенциала монооксида углерода и водорода;

– получение чугуна требуемого химического состава с допустимым содержанием серы.

Разработанная с учетом этих положений модель позволяет решать задачи оптимального распределения расхода природного газа и технологического кислорода в различных технологических ситуациях [21, 24].

Заключение

Отечественный и зарубежный опыт убедительно доказывает, что развитие предприятий металлургического комплекса, решение проблем энергосбережения, повышения качества и конкурентоспособности продукции на мировом рынке требуют усовершенствования систем оценки достоверности получаемой информации, систем использования информации, применяемых как для управления технологическими процессами, так и управления производством в целом. Интеллектуальным ядром такой переработки информации являются математические модели, экспертные системы, системы распознавания образов. Сегодня становится очевидной роль алгоритмов и компьютерных программ для решения комплекса технологических задач в области металлургии именно для верхних SCADA и MES уровней. Следует отметить, что анализ в целом состояния вопроса по реально используемым математическим моделям в практике показывает: в настоящее время разрыв между потенциальными возможностями средств автоматизации и реальными возможностями используемого программного обеспечения огромен.

В связи с этим следует выделить научные проблемы, первостепенными из которых являются:

– совершенствование существующих и разработка новых компьютерных методов получения и оценки достоверности информации о состоянии технологического процесса;

– использования современных достижений в области математического моделирования, моделирования знаний, распознавания образов, теории и

практики современной металлургии, теории управления при разработке автоматизированных систем управления;

– разработка на основе современных принципов соответствующего математического, алгоритмического и программного обеспечения.

Список использованных источников

1. Красовский А. А. Справочник про теории автоматического управления : под ред. А. А. Красовского. – М. : Наука, 1987. – 712 с.
2. Колесников А. А. Современная прикладная теория управления : под ред. А. А. Колесникова. – Таганрог : изд. ТРТУ, 2000. Ч. 1 – 400 с., Ч. 2 – 559 с., Ч. 3 – 656 с.
3. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование : Идеи. Методы. Примеры. – М. : Наука, Физматлит. 1997. – 320 с.
4. Введение в системный анализ теплофизических процессов металлургии / Н. А. Спирин, В. С. Швыдкий, В. И. Лобанов, В. В. Лавров. – Екатеринбург : изд. УГТУ, 1999. – 205 с.
5. Элементы теории систем и численные методы моделирования процессов тепломассопереноса : учеб. для вузов / В. С. Швыдкий, Н. А. Спирин, М. Г. Ладыгичев и др. – М. : Интермет-Инжиниринг, 1999. – 520 с.
6. Юсфин Ю. С. Металлургия чугуна; под ред. Ю. С. Юсфина. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774 с.
7. Рамм А. Н. Современный доменный процесс. – М. : Металлургия, 1980. – 304 с.
8. Теплообмен и повышение эффективности доменной плавки / Н. А. Спирин, Ю. Н. Овчинников, В. С. Швыдкий, Ю. Г. Ярошенко. – Екатеринбург : УГТУ, 1995. – 243 с.
9. Товаровский И. Г., Севернюк В. В., Лялюк В. П. Анализ показателей и процессов доменной плавки. – Днепропетровск : Пороги, 2000. – 420 с.
10. Китаев Б. И., Ярошенко Ю. Г., Лазарев Б. Д. Теплообмен в доменной печи. – М.: Металлургия, 1966. – 355 с.
11. Теплотехника доменного процесса / Б. И. Китаев, Ю. Г. Ярошенко, Е. Л. Суханов и др. – М. : Металлургия, 1978. – 248 с.
12. Дмитриев А. Н., Шаврин С. В. Двумерная математическая модель доменного процесса // Сталь. 1996. № 12. С. 7 – 13.
13. Доброскок В. А., Кузнецов Н. А., Туманов А. И. Математические модели процессов газодинамики и восстановления в доменной печи // Изв. вузов. Черная металлургия. 1985. № 3. С. 145 – 146.
14. Мойкин В. И., Бабушки Н. М., Боковиков Б. А. Анализ работы доменной печи на комбинированном дутье с применением метода математического моделирования // Сталь. 1984. № 4. С. 9 – 14.
15. Ченцов А. В., Чесноков Ю. А., Шаврин С. В. Балансовая логико-статистическая модель доменного процесса. – М. : Наука, 1991. – 92 с.

16. Загайнов С. А., Онорин О. П., Гилева Л. Ю. Разработка и внедрение математического и программного обеспечения для гибких технологических режимов работы доменных печей // Сталь. 2000. № 9. С. 12 – 15.
17. Компьютерные методы моделирования доменного процесса; под ред. Н. А. Спирина / Онорин О. П., Спирин Н. А., Терентьев В. Л. и др. – Екатеринбург : УГТУ – УПИ, 2005. – 301 с.
18. Информационные системы в металлургии. / Н. А. Спирин, Ю. В. Ипатов, В. И. Лобанов и др. – Екатеринбург : УГТУ – УПИ, 2001. – 617 с.
19. Салихов З. Г., Арунянц Г. Г., Рутковский Л. А. Системы оптимального управления сложными технологическими объектами. – М. : Теплоэнергетик, 2004. – 496 с.
20. Оптимизация и идентификация технологических процессов в металлургии. / Н. А. Спирин, В. В. Лавров, С. И. Паршаков, С. Г. Денисенко. – Екатеринбург, УГТУ – УПИ, 2006. – 307 с.
21. Казанцев С. В., Спирин Н. А. Использование распознавания образов для управления сложными объектами на примере доменной плавки // Изв. вузов. Черная металлургия. 2006. №2. С. 54 – 57.
22. Емельянов С.В. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев, А.С. Рыков, В.Ф. Евтушенко, С.М. Кулаков, Н.Ф. Бондарь – Кемерово; М.: Издат. объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2008. – 487 с.
23. Мышляев Л.П. Прогнозирование в системах управления / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко. СибГИУ. – Новокузнецк, 2002, – 358 с.
24. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии / В.П. Цымбал // Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2006. – 431 с.

УДК 681.3:669.02.09

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО РАФИНИРОВАНИЯ МЕДИ

Гронь Д.Н., Горенский Б.М.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Для построения математической модели может использоваться метод пассивного и активного эксперимента.

Метод пассивного эксперимента применяют для определения значений основных технологических параметров и для анализа их динамики при определённом способе или законе управления технологическим процессом. Данный метод используют при построении вероятностных математических моделей технологических процессов и при описании процессов в статике

(например, при оценке технико-экономических показателей работы металлургического агрегата).

Методом активного эксперимента проверяют правильность построения математических моделей технологических процессов, также им проверяют правильность разработанных законов и методов управления и настройки коэффициентов регуляторов САУ. Сущность активного эксперимента состоит в том, что управляющие воздействия, определённые расчётным путём, прикладывают к регуляторам и исследуют реакцию системы на эти возмущения.

Поскольку возможны случайные воздействия на процесс рафинирования меди и нет уверенности в полноте получения доступной информации для моделирования процесса выбрана стохастическая модель, которая отражает вероятностные процессы и позволяет оперативно оценивать параметры, оказывающие существенное влияние на процесс рафинирования.

Для построения моделей такого рода использован регрессионный анализ на основе экспериментальных данных зависимостей выхода по току (η_{cu}) рафинированной меди от следующих входных параметров: плотности тока (D), содержания меди в электролите ($C_{Cu}^{эл.}$), содержания серной кислоты в электролите ($C_{H_2SO_4}^{эл.}$), скорости циркуляции электролита (V), содержания меди и никеля в анодах ($C_{Cu}^{Ан}$ и $C_{Ni}^{Ан}$), силы тока (I) и содержания сульфата меди в электролите ($C_{CuSO_4}^{эл.}$).

Для построения моделей, описывающих процесс электролитического рафинирования меди, необходимо учесть множество параметров технологического процесса, экспериментальные данные о ходе процесса, а также требования к построению компьютерных тренажёров и к методике построения математической модели.

В качестве исходных данных для построения моделей используются экспериментальные зависимости выходных показателей (выход по току, электрическая мощность, производительность, удельная мощность) от входных (состав анодного сырья, состав электролита) и управляющих воздействий (изменение скорости циркуляции электролита и силы тока на ванне).

По полученным массивам экспериментальных данных авторами построены полиномиальные регрессионные уравнения с использованием Microsoft Office Excel. Выбор данного программного продукта был обусловлен удобством использования и мощностью этого пакета.

Для аппаратов периодического действия при изучении поведения объекта во времени временным интервалом функционирования модели выбирают длительность рабочего цикла $t_ц$. В нашем случае $t_ц$ = 480часов.

По данным, приведенных на рисунках, составлены математические модели зависимости выхода по току и производительности от входных параметров.

Построение регрессионных моделей осуществлялось методом пассивного эксперимента, при котором измерялись прямым методом параметры процесса и рассчитывались статистические характеристики параметров.

Получены следующие зависимости показателя выхода по току от:

1. плотности тока

$$\eta_{cu} = 0{,}0777 \cdot D^2 - 41{,}66 \cdot D + 5669{,}7 \qquad (1)$$

$$R = 0{,}8;\ Q = 0{,}2,$$

где R – корреляционное отношение;

Q – суммарная ошибка.

2. содержания меди в электролите

$$\eta_{cu} = 0{,}0005 \cdot C_{Cu}^{Эл\,2} - 0{,}0425 \cdot C_{Cu}^{Эл} + 89{,}617 \qquad (2)$$

$$R = 0{,}9;\ Q = -0{,}21;$$

3. содержания серной кислоты в электролите

$$\eta_{cu} = 0{,}0081 \cdot C_{H_2SO_4}^{эл\,2} - 3{,}0551 \cdot C_{H_2SO_4}^{эл} + 376{,}98 \qquad (3)$$

$$R = 0{,}899;\ Q = -0{,}21;$$

4. скорости циркуляции электролита

$$\eta_{cu} = 0{,}0141 \cdot V + 86{,}006 \qquad (4)$$

$$R = 0{,}9;\ Q = -0{,}33;$$

5. содержания сульфатов меди в электролите

$$\eta_{cu} = 0{,}0003 \cdot C_{CuSO_4}^{эл\,2} - 0{,}0805 \cdot C_{CuSO_4}^{эл} + 94{,}528 \qquad (5)$$

$$R = 0{,}907;\ Q = 0{,}1.$$

Получены следующие зависимости показателя производительности от:

1. плотности тока

$$Пр_{cu} = 0{,}0005 \cdot D - 0{,}0713 \qquad (6)$$

$$R = 0{,}8;\ Q = 0{,}2,$$

2. содержания меди в электролите

$$Пр_{cu} = 0{,}00003 \cdot C_{Cu}^{эл\,2} + 0{,}0492 \qquad (7)$$

$$R = 0{,}9;\ Q = -0{,}21;$$

3. содержания серной кислоты в электролите

$$Пр_{cu} = 0{,}000008 \cdot C_{H_2SO_4}^{эл\ 2} - 0{,}0031x + 0{,}3409 \quad (8)$$
$$R = 0{,}899;\ Q = -0{,}21;$$

4. скорости циркуляции электролита и меди в электролите

$$Пр_{cu} = 0{,}00001 \cdot V + 0{,}0482 \quad (9)$$
$$R = 0{,}9;\ Q = -0{,}33;$$

5. от содержания сульфатов меди в электролите

$$Пр_{cu} = 0{,}0000003 \cdot C_{CuSO_4}^{эл\ 2} - 0{,}00008 \cdot C_{CuSO_4}^{эл} + 0{,}0563 \quad (10)$$
$$R = 0{,}99;\ Q = 0{,}1;$$

Результаты корреляционного и регрессионного анализа показывают, что коэффициенты корреляции r и корреляционные отношения R близки к единице, а ошибки моделей не превышают 1%, что говорит об адекватности моделей. Высокая корреляция и малое значение ошибки в парных зависимостях указывает на их адекватность.

Практический интерес представляет построение обобщенной математической модели зависимости выхода по току (η_{cu}) и производительности (*Пр*) от приведенных выше параметров.

В общем виде факторы, влияющие на выход по току и производительность можно представить в следующем виде (11)

$$\eta_{Cu} = f(D, C_{H_2SO_4}^{эл.}, C_{сульфаты}^{эл.}, C_{Cu}^{эл.}, \cdot V)$$
$$Пр = f(D, C_{H_2SO_4}^{эл.}, C_{сульфаты}^{эл.}, C_{Cu}^{эл.}, \cdot V) \quad (11)$$

С использованием множественного регрессионного анализа получены многопараметрические математические модели. Для выхода по току меди и производительности получены уравнения (12 и 13).

$$\begin{aligned}
\eta_{Cu} = {} & 0{,}3 \cdot (0{,}0005 \cdot C_{Cu}^{эл\ 2} - 0{,}0425 \cdot C_{Cu}^{эл} + 89{,}617) + \\
& + 0{,}2 \cdot (0{,}0081 \cdot C_{H_2SO_4}^{эл\ 2} - 3{,}0551 \cdot C_{H_2SO_4}^{эл} + 376{,}98) + \\
& + 0{,}1 \cdot (0{,}0777 \cdot D^2 - 41{,}66 \cdot D + 5669{,}7) + \\
& + 0{,}2 \cdot (0{,}0141 \cdot V + 86{,}006) + \\
& + 0{,}2 \cdot (0{,}0003 \cdot C_{CuSO_4}^{эл\ 2} - 0{,}0805 \cdot C_{CuSO_4}^{эл} + 94{,}528),
\end{aligned} \quad (12)$$
$$R = 0{,}91,$$

$$
\begin{aligned}
Пр = {} & 0{,}3 \cdot (0{,}00003 \cdot C_{Cu}^{эл} + 0{,}0492) + \\
& + 0{,}1 \cdot (0{,}0005 \cdot D - 0{,}0713) + \\
& + 0{,}2 \cdot (0{,}000008 \cdot C_{H_2SO_4}^{эл}{}^{2} - 0{,}0031 \cdot C_{H_2SO_4}^{эл} + 0{,}3409) + \\
& + 0{,}2 \cdot (0{,}00001 \cdot V + 0{,}0482) + \\
& + 0{,}2 \cdot (0{,}0000003 \cdot C_{CuSO_4}^{эл}{}^{2} - 0{,}00008 \cdot C_{CuSO_4}^{эл} + 0{,}0563),
\end{aligned} \tag{13}
$$

$$R = 0{,}90,$$

$$D = \frac{I}{S_{ан}} \tag{14}$$

где η_{Cu} – выход по току, %; D - плотность тока, А/м^2;

$C_{Cu}^{Ан}$ – содержание меди в анодах, %;

$C_{H_2SO_4}^{эл.}$ – содержание серной кислоты в электролите, кг/м^3;

$C_{сульфаты}^{эл.}$ – суммарное содержание сульфатов в электролите, кг/м^3;

$C_{Cu}^{эл.}$ – содержание меди в электролите, г/л;

V – скорость подачи электролита, л/час;

E – электролитический эквивалент никеля, мг/ А-час;

I – сила тока, А;

$S_{ан}$ – площадь анода, м^2.

Метрологические характеристики ММ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики ММ.

Параметр	Уровень значимости	Среднеквадрат. погрешность	Математическое ожидание	Доверительный интервал
Выход по току	0,1	3,0%	88	87,1 ÷ 90,5
Производительность	0,1	2,8%	0,0496	0,0488 ÷ 0,0512

Используя полученные модели, можно спрогнозировать значения выходных показателей процесса рафинирования до его фактического окончания без отбора проб и, в соответствии с результатом, скорректировать ход его ведения.

Список использованных источников

1. Гронь Д.Н., Горенский Б.М. Информационно-управляющая система процессом электролитического рафинирования меди// журнал Сибирского федерального университета, серия Техника и технологии, 2009 г. Том 4 №3, стр. 301-310.

2. Горенский Б.М., Гронь Д.Н. Оценка уровня совершенствования технологических переделов производства тяжелых цветных металлов методами компьютерного моделирования// журнал Сибирского федерального университета, серия Техника и технологии, 2009 г. Том 4 №4, стр. 434-445.
3. Гронь Д.Н., Горенский Б.М. Компьютерный тренажёр гидрометаллургического процесса электролитического рафинирования меди// Высокие технологии, исследования, промышленность. Т. 2: сборник трудов Девятой международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», Санкт-Петербург, Россия/ под ред. А.П. Кудинова, 2010. -311с..
4. Горенский Б.М., Гронь Д.Н. Применение СППР для улучшения технических показателей гидрометаллургического процесса электролитического рафинирования меди// Высокие технологии, исследования, промышленность. Т. 2: сборник трудов Девятой международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», Санкт-Петербург, Россия/ под ред. А.П. Кудинова, 2010. -311с.
5. Баймаков Ю.В., Журин А.И. Электролиз в гидрометаллургии. М.: Металлургия, 1977. – 335с.
6. Гронь Д.Н., Горенский Б.М. Компьютерный тренажер для имитирования процесса электролитического рафинирования меди // Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании: Сборник работ XX Международной научно-технической конференций. – Пенза, 2007.
7. Гронь Д.Н., Горенский Б.М. Основы построения тренажеров для исследования процессов электролитического рафинирования меди // Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании: Сборник работ XX Международной научно-технической конференций. – Пенза, 2007.
8. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010614674 «Компьютерный тренажёр» Электролитическое рафинирование меди». /Д.Н. Гронь (RU); Заявление 27.05.2010, №2010612947. Зарегистрировано – М.: РОСПАТЕНТ 16.07.2010.

УДК 681.513.8

ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИИ И САМООРГАНИЗАЦИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цымбал В.П.

СибГИУ г. Новокузнецк

Основные условия самоорганизации.

Формирование нового научного направления, которое получило название теории самоорганизации или синергетики (этот термин имеет более узкий смысл) условно относят к 1978-79 годам и связывают с появлением двух фундаментальных трудов школ И. Пригожина [1] и Г. Хакена [2]. В этих и последующих трудах школ сформированы основные принципы этой теории, условие самоорганизации и возможные способы воздействия на объекты (диссипативные структуры), которые обладают синергетическими (когерентность, согласованное поведение частиц) свойствами. Такой подход А.А. Колесников [3], претендующий на приоритет в создании *синергетической теории управлении*, называет стихийным или *причинным* способом самоорганизации, предлагая дополнить его *целевым* способом самоорганизации.

Рассмотрим сначала основные принципы первого подхода.

Как следует из расширенного толкования второго закона термодинамики [1] для открытых систем (рисунок 1), приращение энтропии в такой системе есть

$$dS = d_iS + d_eS, \tag{1}$$

где d_iS и d_eS – соответственно приращение энтропии внутри системы и за счет воздействия извне.

Рисунок 1 – Открытая система

При этом самоорганизация (спонтанное образование более организованной структуры) возможно если

$$\Delta S = \int\limits_{\text{по пути}} dS \prec 0 . \qquad (2)$$

Таким образом, самоорганизация возможна, если на каком-то отрезке пути эволюции системы в ней произойдет уменьшение энтропии.

Учитывая, что энтропия внутри изолированной системы может только увеличиваться (достигая максимума), т.е. $d_i \geq 0$, выполнение условия (2) возможно лишь за счет потока энергии (отрицательной энтропии $d_e S$) извне.

Это необходимое, но недостаточное условие самоорганизации.

А вторым важным условием самоорганизации, о котором часто забывают, является достаточно высокий уровень сложности системы и способность к взаимодействию составляющих ее частей. При этом речь идет именно о когерентном (согласованном) взаимодействии с образованием новой (диссипативной) структуры, обладающей существенно меньшей информационной размерностью (числом параметров порядка).

Созданные же человеком механические объекты, даже состоящие из большого числа элементов, как правило, не имеют достаточного количества степеней свободы и поэтому не способны к когерентному поведению.

С учетом отмеченного выше, а также с точки зрения возможностей и принципов управления целесообразно выделить два принципиально отличающихся вида объектов.

1. Объекты механической природы (как правило, искусственно созданные человеком).

2. Объекты термодинамической природы (в значительной степени заимствованные у самой природы). Например, расплавы металлов, шлаков – это частные случаи природных магматических систем.

Объектами механическими можно управлять однозначно, изменяя начальные условия. Снаряд из пушки попадает в цель, если его послать под определенным углом и с определенной скоростью. Сюда же можно отнести и летательные аппараты, если рассматривать их как движение материальной точки по заданной траектории. Роль регулятора (кибернетос-рулевой) при этом сводится к тому, чтобы не позволять этому аппарату (самолету, крылатой ракете и т.д.) существенно удалятся от заданной траектории. Только при таком допущении для описания объекта и синтеза закона управления можно ограничиться относительно простыми линейными дифференциальными управлениями. Классическая теория управления занималась преимущественно объектами такого плана, то есть движущимися объектами. Такой подход затем (и мы в том числе) пытались применять также для управления объектами физико-химической природы, например, для управления химсоставом расплавленного металла по заранее заданной траектории, однако эти многочисленные попытки к успеху не привели. До сих пор так и не удалось создать замкнутой системы управления для таких объектов, ниже мы попытаемся рассмотреть – почему?

Объектами термодинамической природы (на которых ниже мы сосредоточим внимание) нельзя управлять с помощью начальных условий. В одном моле вещества содержится $6 \cdot 10^{23}$ молекул, а число возможных комплексов из этих молекул (а тем более, если два вещества вступают в реакцию) практически несчетно.

Поэтому объектами такой (физико-химической) природы можно управлять (и то неоднозначно) с помощью граничных условий. При этом они способны выходить из повиновения за счет возможности самопроизвольной организации когерентного поведения, которое может приводить к бифуркациям и различного рода режимам с обострением.

Важным фактором, влияющим на поведение таких объектов, является уровень отклонения от термодинамического равновесия.

Различают три уровня:

1. Термодинамическое равновесие (ТДР).
2. Слабое отклонение от ТДР (линейная термодинамика).
3. Сильное отклонение от ТДР (нелинейная термодинамика).

Для большей конкретности рассмотрим эти уровни на примере металлических расплавов или шлакометаллических систем.

Первому уровню соответствует стремление расплавов (систем) к выравниванию химического состава и температуры. Примером являются процессы внепечной обработки: продувка аргоном, вакуумирование и т.д. Здесь выполняется знаменитый принцип Больцмана – стремление к максимуму энтропии.

Условием нахождения системы на втором уровне является выполнение соотношения взаимности Онсагера [1].

$$\begin{aligned} q_t &= \alpha_t \Delta T \\ q_c &= \beta_c \Delta C \end{aligned} . \qquad (3)$$

Для линейной термодинамики, как известно [1], доказана теорема о минимальном производстве энтропии из которой следует, что

$$\frac{dP}{dt} \le 0 , \qquad (4)$$

где $P = \dfrac{ds}{dt}$ - производство энтропии.

Как видно из рисунка 2, в системах, удовлетворяющих условиям этой теоремы, возникшие внутри системы или внесенные из вне возмущения (флуктуации), асимптатитчески затухают и система самопроизвольно стремится к определению уровню текущего (не термодинамического) равновесия, соответствующего минимальному $P_{\min}$ производству энтропии.

Рисунок 2 – Изменение производства энтропии

Отсюда следует, что в такой системе самопроизвольное (спонтанное) образование новой более организованной структуры невозможно, но зато в этой системе имеет место саморегулирование. И если мы не хотим, чтобы в каком-то технологическом процессе (сталеплавильной ванне) не возникали аномальные ситуации (вскипание, выбросы), то нельзя допускать, чтобы управляющие воздействия (потоки вещества и энергии) превышали определенный уровень, но это часто приходит в противоречие со стремлением к повышению производительности и тогда система попадет на третий уровень.

Третий уровень как видно из приведенной на рисунке 3 бифуркационной диаграммы соответствует большому отклонению от термодинамического равновесия. Правее точки бифуркации λ_c возможность предсказания детерминированного поведения системы исчезает, ее поведение становится непредсказуемым, большую роль начинают играть флуктуации. При увеличении степени отклонения от ТДР система может скачком перейти через границу устойчивости на новый структурный уровень. Но для поддержания системы на этом уровне требуются более мощные потоки энергии извне (см. d_eS на рисунке 1).

Рисунок 3 – Бифуркационная диаграмма

При реализации такого процесса возникает проблема устойчивости неравновесных стационарных состояний, которые могут нарушаться вслед-

ствие флуктуаций или вынужденных изменений внутренних параметров, т.е. нарушается условие стационарности $d_xP = 0$ или $dP = 0$.

В линейной области производство энтропии P в стационарном состоянии минимально: $P = \min$. Любое отклонение от этого состояния только увеличивает энтропию, т.е. $\delta P \geq 0$, $P = P_{\min} + \delta P \geq P_{\min}$. Возбужденная линейная система стремится к стационарному состоянию с минимумом производства энтропии, в ней как бы существуют некие силы, возвращающие систему к стационарному состоянию, которое всегда устойчиво к возмущениям. Это согласуется с устойчивостью по Ляпунову.

Для нелинейных же систем [5] нет принципов, позволяющих предсказывать направление изменения производства энтропии при отклонении систем от стационарного состояния, то есть не существует функций состояния, которые имели бы экстремум в стационарном состоянии.

В нелинейной области устойчивость стационарного состояния не поддерживается автоматически. Такое состояние «*устойчиво только тогда, когда все возможные отклонения и возмущения имеют характер подъема в горку*» [5], т.е. когда справедливо соотношение

$$\delta_X P = V \sum \delta I_r \delta X_r \geq 0, \tag{5}$$

где $\delta X_r = X_r - X_r^{(S)}$ и $\delta I_K = I_K - I_K^{(S)}$ – отклонение от стационарного состояния.

Это неравенство представляет собой общие условия устойчивости стационарных состояний и его можно назвать условием текущего равновесия.

Отсюда следует вывод, что для поддержания такой системы в стационарном состоянии необходимо постоянное подталкивание ее вверх, иначе она сходит вниз с данного стационара.

Рассмотренные выше принципы и условия являются очень важными для управления системами, действительно обладающими синергетическими свойствами, это прежде всего относится к объектам термодинамической природы. Мы надеемся, что взгляд с этих позиций поможет более четко проанализировать рассматриваемые ниже дискуссионные вопросы управления синергетическими объектами.

О попытках построения синергетической теории управления.

Одна из первых попыток в этом направлении предпринята А.А. Колесниковым [3]. Остановимся на сути этого подхода. Автор этой работы, которая затем была развита в коллективном труде [5], справедливо отмечает, что современная теория управления успешно освоила методы достаточно грубого внешнего воздействия на различные технические объекты. Однако наступило время пересмотра силовых подходов в задачах управления и использования идей самоорганизации, то есть возникает потребность поиска методов целевого воздействия на процессы самоорганизации в нелинейных автоматических системах, создания способов формирования и возбуждения

внутренних сил взаимодействия, которые могли бы породить в фазовом пространстве систем устойчивые диссипативные структуры, адекватные физической сущности соответствующей системы.

Эту проблему предполагается решать следующим образом.

Исходную систему, состоящую из некоторого динамического объекта и действующих на него внешних сил (управляющих, задающих и возмущающих воздействий) предлагается путем замыкания прямыми и обратными связями преобразовать в новую расширенную систему. При этом первоначальные воздействия бывшие внешними силами по отношению к исходному объекту становятся внутренними силами расширенной системы. По мнению автора, такая система действительно становится открытой в термодинамическом смысле и, через нее будет протекать энергия или вещество (или информация) из какого-то источника.

В действительности же объект и до этого являлся открытой системой и такого рода расширение происходит всегда при формулировке проблемы синтеза системы управления, которая сводится к определению законов управления. А эти законы, являющиеся уравнениями регулятора должны обеспечить желаемые динамические свойства замкнутой системы: объект – закон управления (регулятор). *Но такая постановка является по существу тривиальной, поскольку в любом таком случае система становится саморегулирующейся.*

В чем же новизна подхода? По мнению автора [3], новизна подхода заключается в том, что к этой расширенной системе предлагается применить известные принципы синергетики. Естественно, при этом речь идет о достаточно сложных многосвязных нелинейных системах.

При решении задачи синтеза таких систем автор в качестве наиболее важных моментов выделяет следующие:

1. Управление объектом произвольной природы представляет собой организованный целенаправленный процесс редукции степеней свободы исходной системы, то есть все избыточные с точки зрения поставленной цели степени свободы редуцируются и остаются только те степени свободы, которые определяют цель управления. *Но при таком подходе, следует заметить, мы опять подчиняем свойства объекта (в том числе синергетические) целям управления, которые, кстати сказать, не являются целями, соответствующими «подлинной оптимизации» самого технологического объекта, а отвечают критериями качества замкнутой системы управления* (асимптотическая устойчивость, минимальное время переходного процесса и т.д.).

2. Применительно к развиваемому автором подходу редукция степеней свободы означает организацию между координатами системы некоторых связей – инвариантных многообразий (синергий), которые реализуют указанную редукцию степеней свободы. При этом инвариантны многообразия (редукторы степеней свободы) вводятся в систему с помощью соответствующего закона управления. *Как определить, что это за закон?*

3. Редуцированные степени свободы замкнутой системы представляют собой элементы управления как некоторые системные категории (инвариантные многообразия – синергии), которые ограничивают разнообразие системы, формируют связи, то есть осуществляют некоторые акции управления. *Но ограничение разнообразия – это опять же силовой подход.*

Таким образом, в рассматриваемой постановке управление – это преодоление избыточных степеней свободы системы и, как подчеркивает автор, важным в этой постановке является следующий момент: сначала следует создать избыточные степени свободы, которые определяют дополнительные возможности в свойствах будущей системы, а затем редуцировать эти степени свободы в процессе управления с помощью наложения ограничений в виде инвариантных многообразий. *Но при этом еще раз следует заметить, что, налагая ограничения на степени свободы, мы тем самым в определенной степени подавляем движение объекта, то есть его синергетические возможности и внутренние резервы.*

В качестве наиболее конструктивного, с нашей точки зрения, момента следует отметить тот факт, что автор в качестве многовариантных многообразий, предлагает использовать, в том числе законы сохранения, что позволит в какой-то мере учитывать физические свойства объекта и сделать налагаемые на степени свободы ограничения менее жесткими.

В результате представленной выше постановки далее проблема сводится, по существу, к задаче аналитического конструирования регулятора. При этом, естественно, необходимо иметь математическую модель объекта.

Подход Колесникова А.А. [3] связанный с замыканием системы и аналитическим конструированием регуляторов, по-видимому, прежде всего, приемлем для подвижных объектов (например, летательных аппаратов), где траектория в большем может быть достаточно точно задана, а уровень математического описания объекта достаточно высок.

В рассматриваемых же нами объектах (например, сталеплавильных процессах) траектории процессов обезуглероживания, нагрева, окисленности шлака и другие как бы погружены в объект и взаимоувязаны через внутренний управляющий параметр, например, турбулентную диффузию. Поэтому не случайно, за многие десятилетия существования этих объектов так и не удалось осуществить их полное замыкание через регуляторы (без участия оператора).

Применительно к этим объектам более приемлемым является подход на основе прогнозирующей подстраиваемой модели, реализующий принцип дуального управления, на котором мы остановимся несколько ниже. Здесь же мы хотим заметить, что при таком подходе проще и естественнее решается проблема «подлинной оптимизации», то есть оптимизация самого технологического объекта (процесса) в большом, тем более что в таких объектах возможны очень мощные флуктуации и бифуркационные режимы, с которыми трудно справиться пусть даже достаточно совершенному регулятору [6]. Кроме того, подавление таких режимов может снизить эффективность

работы объекта (затормозить скорости протекания физико-химических процессов). Такие режимы нередко рассматриваются, как аномальные, но в эти моменты резко возрастают скорости процессов, что достаточно наглядно было показано в примере с самораскипанием мартеновской ванны [7]. Для управления такими объектами в подобных ситуациях требуются другие подходы.

Мы удалили достаточно много внимания реферированию в целом весьма интересной монографии А.А. Колесникова [4], которая явилась своеобразной основой для дискуссии и размышлений о подходах к управлению *синергетическими объектами*. Мы не случайно употребили и выделили этот термин, поскольку по настоящему *синергетическое управление* (пока не совсем ясно какое) целесообразно применять именно к объектам с четко выраженными синергетическими свойствами, к числу таких объектов в полной мере можно отнести объекты физико-химического типа, в том числе процессы в плавильных агрегатах металлургии, процессы катализа в ряде химических технологий, самораспространяющийся высокотемпературный синтез и др.

Развиваемый же А.А. Колесниковым подход [3,5] по-видимому, приемлем для более простых (чем физико-химические) систем (например, механических и электромеханических), где уровень детерминированного описания достаточно высок.. В этом подходе в качестве основной становится задача аналитического конструирования агрегатированных регуляторов с использованием инвариантных многообразий. Такой подход более приемлем в тех случаях, когда становятся задача стабилизирующего или следящего регулирования. В этих задачах использование таких критериев как асимптотическая устойчивость и минимальное время переходного процесса является вполне естественным. *Но возникает вопрос, обладают ли такие объекты, даже в виде предлагаемой автором расширенной системы, синергетическими свойствами?*

В синергетике, как известно, асимптотическая устойчивость, есть следствие выполнения теоремы о минимальном производстве энтропии, которая справедлива для систем не сильно отклоненных от состояния термодинамического равновесия (то есть линейных систем), где самоорганизация (в смысле перехода на новый более высокий структурный уровень) невозможна. Таким образом, здесь можно говорить лишь о *самостабилизации (саморегулировании).* В системах же сильно отклоненных от состояния равновесия переходный процесс носит спонтанный скачкообразный характер, поэтому такие критерии как асимптотическая устойчивость и минимальное время переходного процесса здесь не приемлемы, они могут ограничивать использование внутренних ресурсов объекта. В таких случаях нас интересует не сам характер переходного процесса, а новая стационарная *диссипативная* структура – поведение процесса на новом стационарном уровне. И, как следует из соотношения (5), для поддержания этой структуры на новом стационарном уровне требуется постоянное подталкивание ее снизу-вверх, то

есть подвод, например, более мощного потока энергии. А для того, чтобы определить, образовалась ли такая структура, совсем не обязательно замыкать объект обратными связями.

И даже наоборот, это затрудняет *идентификацию*, а, следовательно, и *подлинную оптимизацию* самого динамического объекта, поскольку в этом случае на основе анализа измерительной информации по входу и выходу системы мы получаем передаточную функцию не самого динамического объекта, а замкнутой системы.

Ещё раз резюмируя результаты приведенного выше содержательного анализа, следует отметить, что в попытке использования принципов синергетики для управления сложными системами, автор рассмотренной выше монографии [3] в *значительной мере оказался все таки в плену идей, господствующих в кибернетике (точнее, в теории автоматического управления), прежде всего – идеи охвата объекта обратной связью и аналитического синтеза регулятора (пусть даже сложного и в какой-то мере синергетичного).*

Неслучайно автор назвал [3] свой подход *кибергонией*. Нам кажется, что *охват объекта обратной связью (по крайней мере постоянно действующей) противоречит одному из основных принципов синергетики – принципу минимального принуждения.* По-видимому, в синергетических системах (если мы хотим в полной мере использовать их внутренние свойства и ресурсы) возможно лишь периодическое подключение обратной связи, точнее, проверка – движется ли объект в нужном нам направлении.

На основе нашего опыта изучения сложных термодинамических объектов, действительно обладающих синергетическими свойствами [6,7], можно выделить два реально приемлемых подхода к управлению самоорганизующимися объектами физико-химического типа [7,8].

1. Если имеется достаточно адекватная модель объекта, то в результате ее исследования и оптимизации могут быть найдены собственные функции объекта и на их основе программно реализованы (*управление в большем*), например, режимы с обострением, удовлетворяющие целям функционирования данного объекта (см. примеры исследования нелинейной теплопроводности [6]) или какие-либо другие технологически оптимальные режимы [7] .

2. Если имеется модель только качественного плана или данные о параметрах порядка с учетом принципа подчиненности, то на объект могут накладываться периодические пробные воздействия в сторону повышения степени неравновесности (увеличение потока вещества или энергии) и проверяться результат самоорганизации (движение в нужном направлении), через период близкий к наиболее медленному параметру. По-видимому, наиболее приемлемым применительно к управлению такими системами является подход, в какой-то мере согласующийся с принципами теории *дуального управления А.А. Фельдбаума*, идея которого в самом простейшем виде сводится к следующему: сначала изучи, а затем прими решение по управле-

нию. Проще всего он реализуется через систему управления на основе прогнозирующей адаптивной модели [6,7] , схема которой представлена на рисунке 4.

Рисунок 4 – Схема управления на основе прогнозирующей подстраиваемой модели

Как видно из этой схемы, здесь нет в явном виде обратной связи по отклонению выходной величины от задания, а воздействие на исполнительные механизмы не является непрерывным. Основной упор здесь делается на анализ ошибки модели $\varepsilon_м = y - y_м$ и ее последовательную адаптацию.

Нанесение же управляющих воздействий запаздывает как минимум на один такт и осуществляется лишь после того, как управляющее устройство (оптимизатор) найдет аналитически или поисковым методом значения управляющих воздействий, удовлетворяющих, например, заданному технологическому критерию. В качестве такого критерия может, в частности, быть движение объекта в заданном направлении (или нахождение в заданной области) с минимумом затрат.

Список использованных источников

1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. - 512 с.
2. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. - 406 с, ил.
3. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.

4. Гладышев Г.П. Термодинамика и макрокинетика природных иерархических процессов. М.: Наука, 1988. 287 с.
5. Современная прикладная теория управления: Синергетический подход в теории управления /Под ред. А.А. Колесникова. - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. Ч. I - 400с.
6. Цымбал В.П. Введение в теорию самоорганизации. С примерами из металлургии: Учебное пособие/ Изд. 2-е стер. СибГИУ.–Новокузнецк, 2001. 251с.
7. 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: Уч. пособие / Под редакцией В.П. Цымбала. СибГИУ – Новокузнецк, 2005. - 264 с.
8. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: Учебник для вузов. Москва - Кемерово: Издательское объединение «Российские университеты», 2006. – 430 с.

УДК 669.181

О СОЗДАНИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ВОСТОЧНЫХ РАЙОНОВ СТРАНЫ НА ОСНОВЕ МИНИ-ЗАВОДОВ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ

Цымбал В.П., Мочалов С.П., Рыбушкин А.А., Суздальцев Е.В.

СибГИУ г. Новокузнецк
«Инженерный центр «ПРОЕКТ», г. Новокузнецк

Металлургия является одной из ключевых отраслей тяжелой индустрии (машиностроения, энергетики, строительства и т.д.) и может стать локомотивом для развития восточных районов нашей страны. Однако ожидать крупномасштабных инвестиций для строительства традиционных металлургических заводов полного цикла вряд ли возможно, потому что мировая металлургия находится в достаточно сложном положении из-за гигантизма, многозвенности, больших энергетических и материальных затрат.

Например, в Америке в более или менее удовлетворительном экономическом состоянии находятся заводы, выпускающие широкополосный прокат и имеющие картельные соглашения с машиностроительными фирмами. Сортовой же прокат выпускается преимущественно на мини-заводах, которые являются более экономичными.

Российская же металлургия в связи с укрупнениями и поглощениями заводов, произошедшими перед началом кризиса, нацелена главным образом на альянс с приобретенными зарубежными предприятиями. Главной целью крупных собственников металлургических предприятий является повышение капитализации, при этом некоторые российские заводы оказались по существу подсобными предприятиями зарубежных заводов. В конечном ито-

ге это привело к монополизму и диктату цен, что снижает эффективность работы отраслей, потребляющих металл. Как было отмечено на совещании с металлургами и потребителями металла, проведенном премьер министром В.В. Путиным в июле 2010 года, металлурги не выпускают нужного потребителям металла по многим позициям и его приходится ввозить из-за рубежа.

Некоторые российские металлургические заводы, в том числе в Новокузнецке, находятся в сложном положении. Реконструкция этих заводов требует очень больших капитальных вложений порядка 700-800 долларов на тонну годовой производительности. Вряд ли можно надеяться на то, что собственники этих предприятий будут вкладывать такие средства, и, следовательно, эти заводы обречены на постепенную деградацию, а города, где они расположены, становятся депрессивными.

В тоже время в Китае, примерно половина металлургии является региональной. Она не связана с крупными мировыми металлургическими монстрами и решает главным образом задачи регионов. При этом эффективность этой металлургии значительно выше в связи с меньшими перевозками, как сырья, так и готовой продукции.

Реальным направлением развития восточных районов страны является создание региональной металлургии и в России. К этой мысли постепенно приходят потребители металла. В частности этот вопрос поднимался на совещании переработчиков металла, состоявшемся в г. Новосибирске 17 августа 2010 года, где было подчеркнуто, что машиностроительные заводы находятся в зависимости от крупных металлургических монополий, диктующих цены на металлопродукцию. Переработчики металла хотят уйти от этой зависимости через создание собственного металлургического производства.

Коллективом ученых, проектировщиков и производственников, объединенных в виде научно-инновационной фирмы «Синергетис», входящей в структуру Сибирского государственного индустриального университета на правах юридического лица, разработан новый струйно-эмульсионный металлургический процесс, отличающийся высокой скоростью протекания физико-химических процессов, малым удельным объемом агрегатов (в 10-15 раз меньшим, чем известные), малыми энергозатратами (в 1,5 раза меньше), малыми капитальными затратами (в 2-3 раза меньше).

Процесс полностью замкнут от атмосферы. При реализации, например, технологий прямого восстановления металлов отходящий газ может превращаться в энергетический или синтез-газ, таким образом, процесс может быть полностью бездымным.

Важным преимуществом процесса является возможность прямой переработки пылевидных материалов, т.е. исключение стадии окомкования, (агломерационного и коксохимического производств), так как процесс находится в газофазной области. Это позволяет использовать большую реакционную поверхность исходных пылевидных материалов, и это одна из причин, почему агрегат имеет очень малый удельный объем.

По этой же причине он является наиболее приемлемым для переработки пылевидных металлосодержащих отходов, поскольку позволяет восстанавливать металл прямым путем, без промежуточных стадий, экологически чистым способом, с низкими энергетическими и материальными затратами.

Если учесть, что агрегат одновременно является и водогрейным котлом, так как работает на гарнисажном охлаждении, а газ может быть утилизирован в паровых или в газовых турбинах, то такие агрегаты могут быть сделаны энергонезависимыми и даже мобильными, что открывает возможность для освоения новых малообжитых районов.

В Сибири имеются огромные запасы железных, титано-магнетитовых и других полиметаллических руд, которые пока не используются.

Хорошие мысли высказывались на VI Байкальском экономическом форуме относительно больших природных богатств и необходимости ускоренного экономического развития Сибири. Однако пора переходить к конкретным шагам и не надеяться преимущественно на иностранные инвестиции, поскольку при этом снижается потребность в творческом интеллекте внутри Страны.

В Новокузнецке пока еще сохранились разрозненные группы проектировщиков, имеющих большой опыт проектирования металлургических заводов, а Новосибирский машиностроительный завод «Сибэлектротерм» имеет возможность реализовать новый струйно-эмульсионный агрегат (СЭР) под ключ, в связи с его небольшими размерами.

Предлагаемый подход к строительству металлургических мини-заводов поможет привлечь инвестиции не только крупного, но и среднего бизнеса, поскольку здесь необходимы относительно небольшие капитальные вложения, причем со сроком окупаемости порядка 3-4 года. Но для этого предлагаемую разработку нового металлургического процесса и агрегата нужно довести до более привлекательного коммерческого вида.

Для ускорения реализации предлагаемой разработки необходимо:

1. Создание совместно с Новосибирским машиностроительным заводом (Сибэлектротерм) пилотного мини-модуля и отработка на нем новых технологий, а затем изготовление типового мини-модуля производительностью 30 тысяч тонн в год для литейных цехов машиностроительных заводов и типового модуля производительностью 250-300 тысяч тонн. На основе этих модулей планируется создание металлургических мини-заводов опережающего научно-технического уровня с полным циклом производства от руды (или пылевидных отходов) до готового металла без использования дорогостоящего и дефицитного металлолома, в котором растет содержание вредных примесей, ограничивающих возможность получения ряда марок стали. Реализация этой задачи может быть осуществлена в течение двух-трех лет, например, на основе программы государственно-частного предпринимательства.

2. Создание в городе Новокузнецке проектно-инженерного центра и производственной базы для строительства и комплектации металлургических мини-заводов «под ключ». Пока еще такая возможность имеется, поскольку в Новокузнецке еще сохранились группы проектировщиков бывшего Сибгипромеза и других проектных институтов. Если же этого не сделать в ближайшие годы, то преемственность строительства металлургических заводов в России будет полностью потеряна, и тогда, действительно останется только возможность покупать лицензии на новые технологии, в том числе с этапом проектирования, только за рубежом. Есть опасность полностью потерять традиции российской металлургии, когда-то занимавшей одно из передовых мест в мире. Качественная же металлургия Советского Союза считалась самой высокоразвитой в мире, чего нельзя сказать про настоящее время.

Реализация этой программы может осуществляться поэтапно, не требует больших единичных инвестиций и отличается достаточно быстрой окупаемостью. Благодаря высокой наукоемкости агрегаты имеют небольшие размеры, что позволяет создавать даже мобильные энергометаллургические установки, не требующие подвода электрической энергии, что очень важно при освоении малообжитых районов. Возможен также вариант использования этих агрегатов как газификаторов угля путем его сжигания в шлаковом слое с получением энергетического или синтез-газа с одновременным получением металла (обогащенного легирующими и редкоземельными элементами) из золы.

Новый непрерывный металлургический процесс и агрегат разрабатывался по классическому варианту современных наукоемких технологий: концептуально-теоретическая постановка задачи; создание физико-химических и математических моделей, методик и систем инженерных расчётов технологических и конструктивных параметров; физическое моделирование; испытание отдельных элементов процесса и агрегата в производственных условиях; проектирование и строительство опытной крупномасштабной установки с автоматизированным экспериментом для отработки различных вариантов технологий.

При разработке процесса и агрегата были использованы основные идеи теории самоорганизации [1, 2], результаты исследования кинетических, гидродинамических и термодинамических закономерностей сталеплавильных реакций и процессов [3], теория газовых струй и свойства двухфазных течений [4], результаты математического моделирования и оптимизации сталеплавильных процессов, дополненные рядом оригинальных конструктивных и технологических решений [5]. Большую роль в развитии этих идей сыграла Брюссельская школа под руководством И. Пригожина.

За счет выбора соотношений конструктивных и режимных параметров потоков взаимодействующих фаз в реакторе целенаправленно можно создать требуемое давление и пульсирующий характер процессов с определенной частотой и амплитудой. Давление при заданном соотношении диаметров реактора и соединительного канала создается за счет газовыделения и дей-

ствия механизма «самозапирания» канала отвода двухфазной смеси продуктов реакций, который проявляется в зависимости критической скорости течения потока от объемного газосодержания. Пульсирующий характер процессов объясняется наличием положительных и отрицательных обратных связей, проявляющихся в зависимости механизма отвода смеси от газосодержания, а также влияния давления в реакторе как на механизм притока и оттока, так и на скорость реакций, идущих с выделением газообразных продуктов.

Процесс отладки технологии и элементов конструкции агрегата осуществлялся в 1992-2001 годах на опытной установке, которая была смонтирована на свободных площадях конверторного цеха Запсиба.

Перспективные направления по применению процессов и агрегатов типа СЭР обоснованы исходя из указанных выше преимуществ. В качестве основных, направленных на решение задач структурных изменений в металлургии, выделим следующие.

Создание мини-заводов новой структуры производства в виде независимых друг от друга и параллельно работающих типовых технологических модулей вместо последовательности крупных агрегатов многозвенного металлургического передела. Технологическая схема модуля приведена на рисунке 1, а варианты планирования таких технологических модулей в сопоставлении со структурой традиционного металлургического завода представлены на рисунке 2.

Рисунок 1 – Технологическая схема модуля

Рисунок 2 – Сравнение технологий

Реализация принципа непрерывности исключает необходимость в тяжелом сменном оборудовании (сталеразливочных ковшах, мостовых кранах большой грузоподъемности, тяжелых фундаментах и т.д.). Агрегаты могут быть размещены в относительно легких зданиях, что позволяет быстро окупить вложенные средства. Модули могут работать независимо друг от друга и останавливаться в течение нескольких минут. Можно предложить три вида модулей.

1. ***Технологический мини-комплекс*** (см. модуль 1 на рисунке 2) производительностью 250-300 тысяч тонн жидкого металла в год, включающий агрегат типа СЭР в составе двух последовательных реакторов, шлакоприемник или гранулятора шлака, агрегат доводки, агрегат совмещенной разливки с прокаткой или непрерывной вытяжки готовых профилей. В качестве последнего, например, предполагается использовать разработки и изобретения группы ученых Института теоретической и прикладной механики СО РАН г. Новосибирск, в которых используется принцип вертикальной непрерывной разливки (вытяжки) с использованием жидкометаллических теплоносителей, позволяющих в 15-20 раз повысить скорость кристаллизации. Проблема здесь заключается в выборе и точном поддержании скорости вытяжки металла с учетом скорости затвердевания и обеспечения циркуляции жидкометаллического теплоносителя.

2. ***В качестве второго варианта*** (модуль 2 на рисунке 2) может быть рассмотрена подобная же технологическая схема прямого получения жидкого металла, но с выходом на суспензионную разливку и объемную

кристаллизацию с получением, например, мелкофасонного точного литья. *Реализация этого направлении может изменить отношение к литым изделиям.* Введение ультрадисперсных тугоплавких модификаторов в оптимальных количествах позволяет управлять количеством зародышей и размером кристаллов в рамках объемной кристаллизации, что позволяет получить прочностные свойства для литых изделий не уступающие аналогичным свойствам изделий из прокатного металла [6].

Следует попутно заметить, что полученный нами методом прямого восстановления на опытной установке (пока в небольших количествах) металл обладает интересными (пока мало изученными) свойствами. В частности, он очень трудно поддается механической обработке, трудно режется как механическими, так и газовыми резаками. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что он не прошел через окислительные стадии обработки, самораскислен и даже модифицирован сверхравновесным содержанием углерода, но эти предположения требуют обстоятельного изучения. В случае подтверждения этих свойств и гипотез открываются интересные возможности для получения изделий с новыми свойствами, особенно в сочетании с возможностью прямого легирования.

3. ***Для машиностроительных заводов*** возможным и целесообразным вариантом технологических схем является получение в агрегатах типа СЭР жидкого полупродукта или твердой шихтовой заготовки (модуль 3 на рис.2) с последующей доработкой его в существующих на этих заводах дуговых или индукционных печах. Металлургическое производство на многих российских (и в странах СНГ) машиностроительных заводах находится в устаревшем виде. Предлагаемые разработки открывают возможность создания собственной мини-металлургии «полного цикла», т.е. без использования лома, цены на который неуклонно растут. При этом одновременно решаются задачи получения первородного металла без неокисляемых примесей (меди и никеля), а также использования пылевидных металлосодержащих отходов (окалины, шламов, мелкой стружки и др.).

Интересным вариантом является реализация агрегата типа СЭР в мобильном исполнении. Учитывая, что объем агрегата составляет всего 40-50 $м^3$, мобильная установка может быть скомпонована на двух-трех вагонах или трейлерах, тем более что на машиностроительных заводах, выпускавших мобильные ракетные установки, имеются технологические возможности сделать опорную часть и средства доставки такого комплекса. Такой комплекс может располагаться непосредственно у места добычи руды и ее обогащения или вблизи места складирования отходов. Продуктом такого комплекса является шихтовая заготовка (первородный металл). Потеря температуры жидкого металла в этом случае вполне оправдана, поскольку для получения одной тонны металла из руды требуется 4-5 тонн сырья и топлива. В России на 1 тонну проката приходится 5000 тонно-километров перевозок.

При реализации такой установки может возникнуть необходимость иметь мобильную кислородную установку небольшой производительности и

решение задачи использования и газификации внутри агрегата СЭР пылеугольного топлива. Следует также отметить, что высокий энергетический потенциал отходящих газов и герметичность системы открывает возможность для создания на основе агрегатов типа СЭР замкнутого цикла тепло- и электроснабжения: котел-утилизатор; паровая или газовая турбина; турбокомпрессор.

Комплексная, практически безотходная переработка титаномагнетитовых руд, огромные запасы которых имеются на Урале, в Западной и Восточной Сибири, в то время как половина сырья для титановой промышленности ввозится на Урал с Украины. В доменных печах пока осуществляется лишь небольшая подшихтовка такими рудами из-за опасности получения вязких гетерогенных шлаков.

На опытной установке показана принципиальная возможность реализации технологи переработки титаномагнетитового концентрата в агрегате тип СЭР с разделением железосодержащей и титаносодержащей составляющих. Это достигается благодаря тому, что процесс в агрегате типа СЭР находиться в газофазной области, а шлак взвешен в верхней части рафинирующего отстойника и может выпускаться с любого уровня по высоте агрегата с обеспечением оптимального (с точки зрения текучести шлака) содержания оксидов железа и титана. Эта весьма важная как для черной, так и для цветной металлургии задача заслуживает отдельного рассмотрения.

Создание и реализация комплекса принципиально новых безотходных технологий: переработка пылевидных руд, отходов и зол ТЭЦ с получением металлов, сплавов, сырья для производства алюминия, жидкого стекла, адсорбентов и строительный материалов; переработка титано-магнетитовых руд с получением природнолегированного металла и шлака, как сырья для получения титана и ванадия.

В заключение следует отметить, что переструктуризация металлургии может идти и по пути производства металлизированных окатышей или брикетов методом прямого восстановления и получения металла в электросталеплавильных печах. Такие технологические схемы в последние годы уже получили достаточное развитие. Однако, строительство таких установок требует больших капитальных затрат и здесь реализуется традиционная для металлургии схема: дробление сырья - обогащение - окомкование - плавка, которая находится в противоречии с принципами глобальной экологии - минимизации энтропии.

Более эффективный путь - непосредственное получение металла из пылевидных материалов, что резко уменьшает размеры агрегатов, капитальные и энергетические затраты.

Список использованных источников

1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. - 512 с.
2. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. - 406 с, ил.

3. 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: Уч. пособие / Под редакцией В.П. Цымбала. СибГИУ – Новокузнецк, 2005. - 264 с.
4. Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г., Шрейбер И.Р. Волновая динамика газо- и парожидкосткостных сред. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.
5. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: Учебник для вузов. Москва - Кемерово: Издательское объединение «Российские университеты », 2006. – 430 с.
6. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов /В.П. Сабуров, А.Н. Черепанов, М.Ф. Жуков и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 19344 с. (Низкотемпературная плазма. Т.12.)

УДК 621.771.014

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «DEFORM 2D/3D» В ОСВОЕНИИ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ - СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА «ПРОКАТКА-ПРЕССОВАНИЕ»

Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А.

РГП «Карагандинский государственный индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан

В настоящее время во всем мире наблюдается тенденция к использованию математического моделирования при разработке новых энерго- и трудосберегающих технологий, в том числе и в области обработки материалов давлением. В настоящее время математическое моделирование нашло широкое применение в вузах, НИИ, промышленных предприятиях, как при разработке и исследовании новых технологических процессов обработки металлов давлением (ОМД), так и при исследовании действующих технологических процессов с целью определения оптимальных геометрических и технологических параметров данных технологических процессов.

На кафедре «Обработка металлов давлением» Карагандинского государственного индустриального университета (КГИУ) при моделирование технологических процессов обработки металлов давлением используется программный комплекс DEFORM 2D/3D, который был приобретен университетом в 2006 году. За четыре года сотрудниками кафедры была проделана большая работа не только по изучению уже известных процессов, таких как ковка, штамповка, прокатка, прессование с помощью данного программного комплекса. Так же данный программный комплекс использовался при разработке новых энергоемких технологических процессов обработки металлов давлением, позволяющих получать металл с субультрамелкозернистой структурой, в том числе и объемных наноструктурных материалов, за счет

реализации интенсивных пластических деформаций. В частности, в настоящее время продолжаются исследования новой высокоэффективной технологии деформирования - совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы (рисунок 1), позволяющей получать металл с субультрамелкозернистой структурой и обеспечивающей непрерывность процесса и снятие ограничений по размерам исходных заготовок.

Рисунок 1 – Совмещенный процесс «прокатка-прессование»

Суть предлагаемого способа деформирования заключается в следующем. Предварительно нагретая до температуры начала деформирования заготовка подается к прокатным валкам, которые за счет сил контактного трения захватывают её в зев валков, а на выходе из него проталкивают через каналы равноканальной ступенчатой матрицы. После того, как заготовка полностью выйдет из каналов матрицы она захватывается второй парой валков, которые также за счет контактных сил трении захватывают заготовку в зев второй пары валков и полностью вытягивают заготовку из каналов матрицы. То есть в данном случае процесс прессования заготовок в равноканальной ступенчатой матрице реализуется за счет использования контактных сил трения, возникающих на поверхности контакта металла с вращающимися валками.

На начальных этапах разработки данного технологического процесса ставилась задача построения успешной модели, в которой заготовка подвергалась бы деформированию без возникновения каких-либо дефектов [1, 2]. Были рассмотрены два случая: использование гладких и калиброванных валков. В обоих случаях были построены модели, в которых первая пара валков захватила заготовку, после чего она успешно преодолела все каналы матрицы, на выходе из матрицы попала во вторую пару валков, которые благополучно вытянули ее из матрицы (рисунок 2).

Рисунок 2 – Успешные модели

После построения успешных моделей было проведено изучение напряженно-деформированного состояния при данном процессе так же с помощью программного комплекса DEFORM 2D/3D [3, 4]. Это связано с тем, что исследования напряженного состояния позволяют изучить распределение напряжений во всем объеме заготовки при деформировании, а также выявить те зоны, которые в большей мере подвержены образованию дефектов вследствие возникновения в них больших растягивающих напряжений. Это дает возможность внести необходимые коррективы для снижения интенсивности действия растягивающих напряжений и, как следствие, предотвратить образование дефектов. А исследования деформированного состояния позволяет изучить распределение накопленной деформации во всем объеме заготовки при деформировании и выявить те зоны, которые в большей мере подвержены деформации. На основе этого можно определить рациональные как геометрические, так и технологические параметры деформирования.

При исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС) при совмещенном процессе деформирования заготовок «прокатка-прессование» были проанализированы следующие этапы данного процесса:

1. заготовка только прокатывается в первой паре валков;
2. заготовка прокатывается в первой паре валков и проходит через каналы матрицы;
3. заготовка прокатывается в первой паре валков, проходит через каналы матрицы и затем прокатывается во второй паре валков.

Для анализа НДС на данных этапах были исследованы следующие параметры:

– эквивалентная деформация $\varepsilon_{экв}$;
– эквивалентное напряжение $\sigma_{экв}$;
– главные напряжения σ_1, σ_2, σ_3.

– Анализ напряженно-деформированного состояния заготовок при деформировании их с помощью совмещенного процесса «прокатка – прессование» показал, что при реализации данного процесса реализуется благоприятное НДС для получения металла с субультромелкозернистой структурой.

Рисунок 3 – Распределение эффективной деформации

Рисунок 4 – Распределение эффективного напряжения

Также, помимо НДС, были исследованы температурные условия протекания данного совмещенного процесса [5]. После окончания расчета на заготовке в зоне выхода из второй пары валков делался поперечный разрез и проводилось исследование распределения температуры по сечению. Выбор зоны изучения температуры был обусловлен тем, что именно на выходе из второй пары валков заготовка будет иметь наименьшую температуру, и поэтому в этих валках условия деформирования более жесткие, чем в первой паре или в матрице. Была получена следующая картина распределения температуры по сечению заготовки (рисунок 5).

Анализ полученных результатов моделирования показал, что распределение температуры по сечению заготовки носит неравномерный характер (рисунок 6).

Большая разность температур (до 40 градусов) может привести к неоднородности физических свойств. Поэтому для выравнивания разности температуры по сечению рекомендуется осуществлять предварительный подогрев матрицы.

Рисунок 5 – Распределение температуры по сечению заготовки

Рисунок 6 – График распределения температуры по сечению заготовки

Также при использовании программного комплекса DEFORM 2D/3D были изучены энергосиловые параметры данного процесса. Помимо этого, при помощи приложения Microstructure программного комплекса DEFORM 2D/3D было проведено исследование эволюции микроструктуры, которое показало, что реализация совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы создает благоприятные условия для формирования субультрамелкозернистой структуры после четырех проходов.

Таким образом, изучение новой технологии деформирования - совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы при помощи компьютерного моделирования в программном комплексе DEFORM 2D/3D позволило всесторонне изучить данный процесс, определить оптимальные параметры деформирования, зна-

ние которых является необходимым условием для проектирования опытно-промышленных установок на базе данной технологии.

Список использованных источников

1. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А., Панин Д.А. Моделирование совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы./ Труды Университета, Караганда, 2008. №3. - с. 16-19.
2. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А. Моделирование совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы.// Технология производства металлов и вторичных материалов. Темиртау. 2008. №1. – с. 145-154.
3. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А., Jitai Niu. Влияние геометрических и технологических факторов на напряженное состояние металла при осуществлении совмещенного процесса прокатка-прессование с использованием равноканальной ступенчатой матрицы и калиброванных валков.// Технология производства металлов и вторичных материалов. Темиртау. 2009. №1. – с. 163-176.
4. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А. Исследование влияния геометрических и технологических факторов на деформированное состояние металла при осуществлении совмещенного процесса прокатка-прессование с использованием равноканальной ступенчатой матрицы и калиброванных валков.// Научный журнал. Вестник Жезказганского университета им. Байконурова, Жезказган, 2009, №1, с. 40-48.
5. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А. Температурные условия протекания совмещенного процесса «прокатка-прессование».// Труды международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии» (Сборник научных трудов), Темиртау, 2009. – с. 328-335.

УДК 661.665

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ХИМИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ В ХРОМ-БОРСОДЕРЖАЩИХ СИСТЕМАХ

Ноздрин И.В., Галевский Г.В., Руднева В.В.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Плазмометаллургические струйные процессы получения тугоплавких боридов как объекты термодинамического моделирования по сравнению с традиционными имеют ряд особенностей:

– быстротечность процессов боридообразования, что позволяет ряду исследователей ставить под сомнение возможность достижения равновесия;

– высокотемпературные условия протекания процессов боридообразования, что создает предпосылки для достаточно быстрого достижения равновесия;

– возможность достижения высокого выхода боридов только в условиях, обеспечивающих газофазный характер реакций боридообразования;

– получение боридов в системах, состоящих из нескольких химических элементов, образующих многофазные многокомпонентные смеси, обусловливает необходимость выполнения их термодинамического анализа на ЭВМ;

– изменение условий существования конденсированных фаз вследствие образования их в виде частиц наноразмерного уровня, т.е. с большой кривизной поверхности, для которых парциальное давление над конденсированной фазой превышает давление насыщения над плоской поверхностью; однако в настоящее время отсутствует единое мнение о размерном пороге (~1 или 2 – 10 нм) и соответствующие справочные данные;

– безусловная целесообразность выполнения термодинамических расчетов равновесных составов боридообразующих систем при различных параметрах в связи с недостаточностью информации для описания с необходимой точностью и достоверностью кинетики и механизма процессов боридообразования.

С учетом отмеченных особенностей результаты термодинамического анализа процессов боридообразования следует рассматривать с одной стороны, как прогнозные, требующие экспериментального подтверждения, а с другой – как технологические ориентиры и показатели совершенства реактора и уровня организации в нем процессов тепло- и массообмена.

Термодинамический анализ процессов плазменного синтеза диборида хрома проведен с целью прогнозирования оптимальных параметров его получения (соотношения компонентов и температуры) при использовании различных видов сырья, определения равновесных показателей процесса (степени превращения сырья в борид, составов газообразных и конденсированных продуктов), оценки вклада в процессы боридообразования газофазных реакций, обеспечивающих в условиях плазмометаллургических технологий эффективную переработку дисперсного сырья.

В связи с использованием в процессах синтеза в качестве хромосодержащего сырья хрома, его оксида и трихлорида, а также бора, углеводорода и плазмообразующего газа азота объектами исследования являлись системы *Cr – B – H – N, Cr – B – Cl – H – N, Cr – B – O – C – H – N.*

Необходимые для анализа равновесные составы газообразных и конденсированных продуктов рассчитывались «константным» методом. При расчетах рассматривалась область температур 1000 – 6000 К при общем давлении в системе 0,1 МПа. Исходными данными служили константы равновесия реакций образования соединений из элементов. Принятые для расчетов составы газовой и конденсированной фаз исследуемых систем приведены в таблице 1. Выбор в исследуемых системах соотношений исходных компо-

нентов определялся стехиометрией реакций образования целевых продуктов и параметрами технологического оборудования. Соотношения, выбранные для расчетов, приведены в таблице 2. Расчеты выполнялись с использованием программы компьютерного моделирования высокотемпературных сложных химических равновесий «PLASMA» (ИХТТиМ СО РАН), имеющей встроенную базу данных продуктов взаимодействия для оксидо-, боридо-, карбидо- и нитридообразующих систем.

Таблица 1 – Составы газовой и конденсированной фаз

Система	Состав фаз	
	газовой	конденсированной
Cr – B – H – N	*Cr*, *B*, *H*, *N*, N_2, H_2, *HN*, NH_2, NH_3, *BH*, BH_2, *BN*	*Cr*, *B*, *BN*, *CrB*, CrB_2
Cr – B – Cl – H – N	*Cr*, *B*, *H*, *N*, *Cl*, N_2, H_2, Cl_2, *HCl*, *NH*, NH_2, NH_3, *BH*, BH_2, *BN*, $CrCl_2$, *CrCl*	*Cr*, *B*, *BN*, *CrB*, CrB_2, $CrCl_3$, $CrCl_2$
Cr – B – O – C – H – N	*Cr*, *B*, *H*, *N*, *O*, *C*, N_2, H_2, C_2, O_2, B_2, C_3, *CH*, CH_2, CH_3, CH_4, C_2H, C_2H_2, C_2H_4, C_3H, C_4H, C_4H_2, *CO*, CO_2, *CN*, C_2N_2, *NO*, NO_2, *NH*, NH_2, NH_3, *BO*, BO_2, B_2O, B_2O_2, B_2O_3, *BH*, BH_2, *BN*, *BC*, BC_2, *CrO*, CrO_2, CrO_3, H_2O, *HCN*, HBO_2, HBO_3	*Cr*, *B*, *C*, *BN*, *CrB*, CrB_2, *CrO*, CrO_3, Cr_2O_3, Cr_3C_2, Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$, *CrN*, Cr_2N, B_2O_3, B_4C

Таблица 2 – Соотношения исходных компонентов

Соотношения компонентов, моль	Примечания
1. *Cr* : *B* : *H* : *N* = 1 : 2 : 13,33 : 40	По стехиометрии для реакции $Cr + 2B = CrB_2$ (1)
2. *Cr* : *B* : *H* : *N* = 1 : 1,75 : 13,33 : 40	12,5 %-ный недостаток бора по сравнению со стехиометрией для реакции (1)
3. *Cr* : *B* : *H* : *N* = 1 : 1,5 : 13,33 : 40	25 %-ный недостаток бора по сравнению со стехиометрией для реакции (1)
4. *Cr* : *B* : *Cl* : *H* : *N* = 1 : 2 : 3 : 3 : 40	По стехиометрии для реакции $2CrCl_3 + 4B + 3H_2 = 2CrB_2 + 6HCl$ (2)
5. *Cr* : *B* : *Cl* : *H* : *N* = 1 : 2 : 3 : 15 : 35	5-кратный избыток водорода по сравнению со стехиометрией для реакции (2)
6. *Cr* : *B* : *Cl* : *H* : *N* = 1 : 2 : 3 : 30 : 30	10-кратный избыток водорода по сравнению со стехиометрией для реакции (2)

Продолжение таблицы 2

Соотношения компонентов, моль	Примечания
7. $Cr : B : O : C : H : N =$ $1 : 2 : 1{,}5 : 1{,}5 : 15{,}67 : 35$	По стехиометрии для реакции $Cr_2O_3 + 4B + C_3H_8 = 2CrB_2 + 3CO + 4H_2$ (3)
7. $Cr : B : O : C : H : N =$ $1{:}2{:}1{,}5{:}1{,}88{:}16{,}67{:}35$	25 %-ный избыток пропана по сравнению со стехиометрией для реакции (3)
8. $Cr : B : O : C : H : N =$ $1 : 2 : 1{,}5 : 2{,}26 : 17{,}76 : 35$	50 %-ный избыток пропана по сравнению со стехиометрией для реакции (3)

В системе $Cr – B – H – N$ при всех рассматриваемых соотношениях компонентов диборид хрома образуется при температуре 3400 К. На основе материального баланса выявлены следующие термодинамически возможные химические реакции образования CrB_2:

$$Cr_г + 2B_г = CrB_{2\,к}; \quad (1)$$

$$Cr_г + 2BN_г = CrB_{2\,к} + N_2; \quad (2)$$

$$Cr_г + 2BH_2 = CrB_{2\,к} + 2H_2, \quad (3)$$

причем до 80 % CrB_2 образуется по реакции 1. При соотношении исходных компонентов в интервале температур 2800 – 2250 К достигается 100 %-ный выход диборида хрома. При недостатке бора в интервале температур 3200 – 2400 К образуется композиция из CrB_2 и CrB. Содержание в композиции моноборида хрома, образующегося по реакции

$$Cr_г + B_г = CrB_к, \quad (4)$$

может достигать 25 % мол. при соотношении исходных компонентов 1 и 50 % мол. при соотношении 2. С понижением температуры стабильность боридов в среде азота падает: при температуре 2400 К CrB, а при 2250 К CrB_2 взаимодействуют с азотом с образованием конденсированного хрома и нитрида бора по реакциям

$$CrB_{2\,к} + N_2 = Cr_к + 2BN_к, \quad (5)$$

$$2CrB_к + N_2 = 2Cr_к + 2BN_к. \quad (6)$$

В системе $Cr – B – Cl – H – N$ термодинамически возможными химическими реакциями боридообразования являются рассмотренные выше реакции 1, 2, 3. Наряду с ними возможно протекание следующей реакции

$$2CrCl_3 + 4BCl + 3H_2 = 2CrB_{2\,к} + 6HCl, \quad (7)$$

по которой может образовываться до 65 % CrB_2. Диборид хрома образуется при стехиометрическом соотношении компонентов (соотношение 4) в ин-

тервале температур 3400 – 2100 К. Однако равновесный выход его в этом случае не превышает 50 %, что объясняется высокой термодинамической стабильностью в данной области температур низших хлоридов хрома и бора. Разбавление системы водородом приводит к расширению температурного интервала существования борида и увеличению его выхода, например, до 3450 – 2050 К и 80 % соответственно при 5-кратном избытке водорода (соотношение 5). 100 %-ный выход диборида хрома достигается при не менее чем 10-кратном избытке восстановителя (соотношение 6). Температурная область существования диборида хрома в этом случае составляет 3500 – 2000 К. Как и в предыдущей системе, с понижением температуры стабильность диборида хрома падает и при температуре 2100 – 2000 К, в зависимости от степени разбавления системы водородом, CrB_2 начинает взаимодействовать с азотом и хлористым водородом по реакции

$$CrB_{2\,к} + N_2 + HCl = CrCl_{2\,г} + BN_к + H_2. \qquad (8)$$

В системе $Cr – B – O – C – H – N$ диборид хрома может быть получен при всех рассматриваемых соотношениях компонентов в интервале температур 3400 – 2100 К. Термодинамически возможно протекание химических реакций боридообразования, описанных при анализе системы $Cr – B – H – N$ (1, 2 и 3). Наряду с ними возможна реакция

$$Cr_{\,г} + 2BO + 2HCN = CrB_{2\,к} + 2CO + N_2 + H_2. \qquad (9)$$

При стехиометрическом для восстановления оксида хрома количестве восстановителя (соотношение 7) в интервале температур 2800 – 2300 К достигается 100 %-ный выход диборида хрома. Избыток восстановителя (соотношения 8, 9) приводит к загрязнению борида углеродом за счет разложения цианистого водорода и ацетилена при 3200 – 2750 К. Содержание свободного углерода может достигать 6 % при соотношении исходных компонентов 8 и 12 % при соотношении 9. Взаимодействие диборида хрома с азотом начинается при 2300 К, но при этой температуре становятся возможными процессы окисления и карбидообразования

$$CrB_{2\,к} + N_2 + CO = BN_к + Cr_2O_{3\,к} + Cr_7C_{3\,к}. \qquad (10)$$

При избытке восстановителя продуктом разложения CrB_2 является композиция $BN – Cr_7C_3 + Cr_3C_2$, содержащая 46,52 % BN, 5,34 % Cr_3C_2, 48,12 % Cr_7C_3 при соотношении компонентов 8 и 45,49 % BN, 52,96 % Cr_3C_2, 1,55 % Cr_7C_3 при соотношении 9. Снижение температуры ниже 1250 К приводит к преимущественному развитию процессов окисления.

УДК 004.942:[662.66:658.567.1]

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ГОРЕНИЯ ВУТ В АДИАБАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ

Рыбенко И.А., Мочалов С.П., Мочалов П.С.

СибГИУ, г. Новокузнецк

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 [1].

Наиболее эффективным направлением утилизации отходов углеобогащения является их сжигание в виде водоугольных суспензий. В этом случае обеспечивается использование всего добытого угля по его прямому назначению, а образующаяся при сжигании зола является хорошим строительным материалом.

Для целей исследования разработана методика и система расчета стационарных режимов сжигания суспензионного угольного топлива в вихревой топочной камере. Последовательность и взаимосвязь этапов методики, видов решаемых задач и возможных получаемых при этом результатов представлена на рисунке 1 [2].

Первоначально, когда конечное состояние системы не определено, возникает необходимость его оценки с использованием методов термодинамического моделирования, по результатам которого производится оценка параметров процесса, диапазонов изменения и состава фаз выходных потоков для стационарного режима и определяются условия протекания процессов.

Результатом расчета материального и теплового балансов является математическое описание взаимосвязей параметров потоков и процесса.

На третьем этапе в результате решения задачи оптимизации рассчитываются оптимальные расходы материалов при заданном критерии оптимизации и ограничениях.

Результаты реализации каждого этапа сопоставляются с данными лабораторных экспериментов.

Основной задачей термодинамического моделирования является оценка конечного состояния системы. Термодинамический анализ осуществлялся с использованием программного комплекса «TERRA», разработанного в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана. Расчет равновесия на основе принципа максимума энтропии позволяет выяснить принципиальную возможность получения тех или иных количеств веществ, выделение которых является основным при решении задачи

оценки предельного конечного состояния. Термодинамический анализ системы в целом необходим также для того, чтобы определить область допустимых значений параметров. Данная программа сопряжена с обширной базой данных свойств индивидуальных веществ, что делает ее пригодной для исследования произвольных по химическому составу композиций [3].

Рисунок 1 – Методика расчета стационарных режимов сжигания ВУТ

По результатам термодинамического моделирования с использованием программного комплекса «TERRA» формируются исходные данные для последующего расчета материального и теплового балансов.

Блок расчета материального и теплового балансов предусматривает гибкий выбор набора входных и выходных параметров системы с учетом результатов, полученных на этапе термодинамического моделирования для

выбранного типа процесса и диапазона параметров, и обеспечивает возможность получения математического описания взаимосвязи параметров потоков и процесса, являющихся основой для решения задачи оптимизации.

С использованием разработанной методики и системы расчета были проведены расчеты и исследования процесса горения ВУТ в вихревой камере.

В таблицах 1, 2 представлены результаты расчета материального и теплового балансов для расхода суспензионного угольного топлива 75 л/ч (90 кг/ч). Количество влаги в ВУТ составляет 37%, зольность – 37,5%.

Температура отходящих газов при заданных параметрах составляет 1345°С.

Таблица 1 – Материальный баланс процесса горения суспензионного угольного топлива

Входные потоки	Расход, кг/ч	Выходные потоки	Выход, кг/ч
ВУТ	90,000	Газ	476,187
Воздух	406,927	Зола	20,740
Всего:	496,927	Всего:	496,927

Таблица 2 – Тепловой баланс процесса горения суспензионного угольного топлива

Приход	кг/ч	МДж/кг	МДж/ч	Расход	кг/ч	МДж/кг	МДж/ч
Экз. реакции			1122,4	Энтальпия продуктов			827,3
$C+1/2O_2=CO$	2,923	9,6	28,0	зола	20,7	1,6	33,1
$C+O_2=CO_2$	26,34	33,1	873,6	газ	476,2	1,7	794,2
$H_2+1/2O_2=H_2O$	1,75	125,9	220,8	Энд. реакции			182,9
				испарение влаги	33,30	5,5	182,9
				Тепловые потери			112,0
				Невязка			0,000%
ИТОГО ПРИХОД			1122,4	ИТОГО РАСХОД			1122,4

С целью моделирования режимов горения ВУТ были рассчитаны параметры процесса для различных расходов ВУТ при базовом расходе воздуха 406 кг/ч или 290 м^3/ч. Расход водоугольной смеси меняли в пределах от 50 до 100 л/ч. Результаты расчетов приведены на рисунке 2, из которого следует, что при заданном расходе воздуха увеличение расхода суспензионного угольного топлива с 50 до 70 л/ч приводит к росту температуры с 1090 до 1370 ºС. Дальнейшее увеличение расхода смеси приводит к тому, что воздуха становится недостаточно для полного сжигания углерода в топливе, в газовой фазе исчезает кислород, начинает увеличиваться содержание *CO*. Температура падает до 1140ºС при максимальном расходе ВУТ 100л/ч.

Рисунок 2 – Зависимости параметров процесса горения от расхода суспензионного угольного топлива

Таким образом, разработанная методика и система расчета стационарных режимов сжигания ВУТ в вихревой камере позволяет осуществить термодинамический анализ процесса с использованием программного комплекса «TERRA» и определить область допустимых значений параметров, провести расчеты стационарных режимов горения, определить параметры процесса при различных характеристиках ВУТ и при различных расходах водоугольного топлива и расходах воздуха на сжигание.

Список использованных источников

1. Забродин А.Г. Перспективы применения водотопливных эмульсий и устройство для обеспечения их сжигания // Соврем. технологии в машиностроении: сб. ст. XIII междунар. науч.-практ. конф. - Пенза: ПДЗ, 2009. - С.202.

2. Мочалов С. П. Разработка средствами Excel системы расчета металлургических процессов / С. П. Мочалов, И. А. Рыбенко // Известия вузов. Черная металлургия. – 2005. – №2. – С. 19-23.
3. Синярев Г.В., Ватолин Н.А., Трусов Б.Г. Моисеев Г.К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. М.: Наука, 1982. - 263 с.

УДК 669.181-932.2

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ВУТ В ВИХРЕВОЙ ТОПКЕ

Калашников С.Н., Мочалов С.П., Мочалов П.С.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Рассматриваем вихревую камеру как реактор проточного типа, в котором происходит сжигание суспензионного угольного топлива и который заполнен смесью, состоящей из трех фаз: твердой, жидкой и газообразной. Твердая фаза состоит из частиц ВУТ диаметром до $2\cdot10^{-3}$ м, которые на 77÷86% состоят из углерода [C]. Жидкая фаза состоит из воды (H_2O). Газовая фаза состоит из водяного пара $\{H_2O\}$, кислорода $\{O_2\}$, водорода $\{H_2\}$, угарного газа $\{CO\}$ и углекислого газа $\{CO_2\}$.

При этом любые две различные фазы не содержат в себе одно и то же вещество, т.е. вхождения одного вещества в различные фазы рассматриваются как различные компоненты гетерогенной смеси, например как вода и водяной пар.

Обозначим через X^f_i i-ое вещество f-ой фазы, а через N^f количество веществ в f-ой фазе, f = 1, 2, 3.

При этом первой фазой будем считать твердую фазу, второй – жидкую, третьей – газовую.

Таким образом, $X^1_1 = [C]$, $X^2_1 = (H_2O)$, $X^3_1 = \{H_2O\}$, $X^3_2 = \{O_2\}$, $X^3_3 = \{H_2\}$, $X^3_4 = \{CO\}$, $X^3_5 = \{CO_2\}$.

Твердая и жидкая фазы содержат по одному веществу, а газовая содержит пять веществ.

На рисунке 1 представлена схема потоков в вихревой камере.

Твердая, жидкая и газообразные фазы занимают в вихревой камере соответственно следующие объемы:

$$\begin{aligned} V^{т} &= \alpha^{т}V, \\ V^{ж} &= \alpha^{ж}V, \\ V^{г} &= \alpha^{г}V, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $\alpha^{т}, \alpha^{ж}, \alpha^{г}$ – объемные концентрации (доли) твердой, жидкой и газообразной фаз;

V – объем вихревой камеры, м^3.

Рисунок 1 – Схема потоков в вихревой камере

Либо в общем виде каждая *f*-я фаза занимает объем

$$V^f = \alpha^f V, \tag{2}$$

где α^f – объемная концентрация (доля) *f*-ой фазы;
$f = 1,2,3$.

Каждое *i*-е вещество *f*-ой фазы X^f_i занимает объем

$$V^f_i = \alpha^f_i V^f = \alpha_i V, \tag{3}$$

где α^f_i – парциальная объемная концентрация вещества X^f_i в *f*-ой фазе;
$\gamma^f_i = \alpha^f_i \alpha^f$ – объемная концентрация вещества X^f_i.

Тогда $\tilde{\rho}^f_i = \alpha^f_i \rho^{\circ f}_i$ является парциальной плотностью, а $\rho^f_i = \gamma^f_i \rho^{\circ f}_i$ – приведенной плотностью вещества X^f_i, где $\rho^{\circ f}_i$ - истинная плотность вещества X^f_i, кг/м^3.

Обозначим через $C^f_i = \dfrac{\tilde{\rho}^f_i}{M^f_i}$ мольную концентрацию вещества X^f_i в *f*-ой фазе, где M^f_i – молярная масса вещества X^f_i. Через $m^f_i = \rho^{\circ f}_i V^f_i = \tilde{\rho}^f_i V^f = \rho^f_i V$ обозначим массу вещества X^f_i, через $m^f = \sum_{i=1}^{N^f} m^f_i$ – массу *f*-ой фазы, через $m = \sum_{f=1}^{3} m^f$ – массу всей гетерогенной смеси в камере. Отношение $\dfrac{m^f}{m} = x^f$ определим как массовое содержание фазы в вихревой камере.

Обозначим через $\rho^{\circ f}$ истинную плотность *f*-ой фазы, которая связана с мольными концентрациями C^f_i вещества X^f_i с помощью соотношения

$$\rho^{\circ f} = \sum_{i=1}^{N^f} M_i^f C_i^f \ , \qquad (4)$$

а с приведенной плотностью фазы α^f – с помощью соотношения $\rho^f = \alpha^f \rho^{\circ f}$.

Рассмотрим построение динамической математической модели физико-химических процессов в вихревой камере для сжигания суспензионного угольного топлива на основе методики описания материального баланса в многофазных реагирующих средах.

В этом случае вихревая камера и процесс рассматриваются в следующем приближении:

– гетерогенная смесь в реакторе состоит из трех фаз: твердой (первой), жидкой (второй) и газовой (третьей), имеющих объемные концентрации α^1, α^2 и α^3 соответственно ($\alpha^1 + \alpha^2 + \alpha^3 = 1$);

– реактор имеет два входных потока;

– с первым входным потоком через форсунку в вихревую камеру поступает суспензионное угольное топливо, состоящее из воды и частиц угольного топлива, в состав которого входят углерод и водород;

– со вторым входным потоком через сопла в вихревую камеру поступает сжатый воздух;

– физико-химический процесс в вихревой камере состоит из четырех последовательно-параллельных стадий, уравнения которых имеют вид:

$$\begin{gathered} (H_2O) \rightarrow \{H_2O\}, \\ 2[C] + \{O_2\} = 2\{CO\}, \\ 2\{CO\} + \{O_2\} = 2\{CO_2\}, \\ 2\{H_2\} + \{O_2\} = 2\{H_2O\}. \end{gathered} \qquad (5)$$

Таким образом, рассматривается трехфазная система, состоящая из [C] в составе твердой фазы, (H_2O) в составе жидкой фазы и $\{H_2O\}$, $\{H_2\}$, $\{O_2\}$, $\{CO\}$, $\{CO_2\}$ в составе газовой фазы.

На рисунке 2 представлен график плотности распределения $f_m(d)$ по массе гранулометрического состава частиц измельченного угольного топлива по диаметрам частиц.

С учетом такого характера плотности распределения сделана оценка суммарного количества частиц угольного топлива N_Σ и суммарная их поверхность S_Σ, приходящиеся на 1 кг ВУТ с помощью следующих соотношений:

$$N_\Sigma = (f_n, 1); S_\Sigma = (f_n, \pi d^2), \qquad (6)$$

где $(f, g) = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} f(\xi) g(\xi) d\xi$.

Рисунок 2 – Плотность распределения гранулометрического состава частиц измельченного угольного топлива

При этом d_{min} = 0,01мм, d_{max} = 2мм, $f_n(d) = \dfrac{6M}{\pi\rho d^3}\tilde{f}_m(d)$,

где $\tilde{f}_m(d)$ – нормированная плотность распределения по массе, M = 1кг.

Результат оценки следующий: $N_\Sigma = 917 \cdot 10^6$, S_Σ = 27,7 м^2.

Матрица стехиометрических коэффициентов четырехстадийного процесса в рассматриваемой двухфазной системе приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица стехиометрических коэффициентов

	Компоненты	1 стадия	2 стадия	3 стадия	4 стадия
Твердая фаза	$[C]$	0	-2	0	
Жидкая фаза	(H_2O)	-1	0	0	0
Газовая фаза	$\{H_2O\}$	1	0	0	2
	$\{H_2\}$	0	0	0	-2
	$\{O_2\}$	0	-1	-1	-1
	$\{CO\}$	0	2	-2	0
	$\{CO_2\}$	0	0	0	2

Скорости реакций по компонентам системы, выраженные в моль/с, определяются с помощью соотношений:

$$\begin{gathered} W_C = -2W_2\,; W_{(H2O)} = -W_1\,; \\ W_{\{H2O\}} = W_1\,;\ W_{H2} = -\,W_4\,; \\ W_{O2} = -W_2 - W_3 - W_4;\ W_{CO} = 2W_2 - 2W_3\,; \\ W_{CO2} = 2W_3, \end{gathered} \tag{7}$$

где W_1, W_2, W_3, W_4 – скорости соответственно первой, второй, третьей и четвертой стадий.

Рассмотрим формирование дифференциальных уравнений на примере описания динамики изменения приведенной плотности, количества молей и массы каждого компонента.

$$\begin{aligned}
V\frac{d\rho_{(H_2O)}}{d\tau} &= \rho_{(H_2O)_1}U_1S_1 - \rho_{(H_2O)}U_{вых}S_{вых} + VJ_{(H_2O)} \\
V\frac{d\rho_C}{d\tau} &= \rho_{C_1}U_1S_1 - \rho_C U_{вых}S_{вых} + VJ_C \\
V\frac{d\rho_{H_2}}{d\tau} &= \rho_{H_{2_1}}U_1S_1 - \rho_{H_2}U_{вых}S_{вых} + VJ_{H_2} \\
V\frac{d\rho_{O_2}}{d\tau} &= \rho_{O_{2_1}}U_1S_1 - \rho_{O_2}U_{вых}S_{вых} + VJ_{O_2} \\
V\frac{d\rho_{\{H_2O\}}}{d\tau} &= - \rho_{\{H_2O\}}U_{вых}S_{вых} + VJ_{\{H_2O\}} \\
V\frac{d\rho_{CO}}{d\tau} &= - \rho_{CO}U_{вых}S_{вых} + VJ_{CO} \\
V\frac{d\rho_{CO_2}}{d\tau} &= - \rho_{CO_2}U_{вых}S_{вых} + VJ_{CO_2},
\end{aligned} \tag{8}$$

где через $J_{вещ}$ обозначены удельные объемные интенсивности изменения масс соответствующих веществ.

Изменение количества молей каждого компонента описывается с помощью уравнений

$$
\begin{aligned}
\frac{dn_{(H_2O)}}{d\tau} &= q_1 C_{(H_2O)_1} - q_{вых} C_{(H_2O)} + W_{(H_2O)} \\
\frac{dn_C}{d\tau} &= q_1 C_{C_1} - q_{вых} C_C + W_C \\
\frac{dn_{H_2}}{d\tau} &= q_1 C_{H_{2_1}} - q_{вых} C_{H_2} + W_{H_2} \\
\frac{dn_{O_2}}{d\tau} &= q_2 C_{O_{2_2}} - q_{вых} C_{O_2} + W_{O_2} \\
\frac{dn_{\{H_2O\}}}{d\tau} &= -q_{вых} C_{\{H_2O\}} + W_{\{H_2O\}} \\
\frac{dn_{CO}}{d\tau} &= -q_{вых} C_{CO} + W_{CO} \\
\frac{dn_{CO_2}}{d\tau} &= -q_{вых} C_{CO_2} + W_{CO_2},
\end{aligned}
\tag{9}
$$

где $q_1, q_2, q_{вых}$ – объемные расходы во входных и выходном потоках соответственно, м^3/с.

Умножив полученные уравнения на молярные массы соответствующих веществ, получим уравнения, описывающие изменение массы каждого компонента

$$
\begin{aligned}
\frac{dm_{(H_2O)}}{d\tau} &= M_{(H_2O)}(q_1 C_{(H_2O)_1} - q_{вых} C_{(H_2O)} + W_{(H_2O)}) \\
\frac{dm_C}{d\tau} &= M_C(q_1 C_{C_1} - q_{вых} C_C + W_C) \\
\frac{dm_{H_2}}{d\tau} &= M_{H_2}(q_1 C_{H_{2_1}} - q_{вых} C_{H_2} + W_{H_2}) \\
\frac{dm_{O_2}}{d\tau} &= M_{O_2}(q_2 C_{O_{2_2}} - q_{вых} C_{O_2} + W_{O_2}) \\
\frac{dm_{\{H_2O\}}}{d\tau} &= M_{\{H_2O\}}(-q_{вых} C_{\{H_2O\}} + W_{\{H_2O\}}) \\
\frac{dm_{CO}}{d\tau} &= M_{CO}(-q_{вых} C_{CO} + W_{CO}) \\
\frac{dm_{CO_2}}{d\tau} &= M_{CO_2}(-q_{вых} C_{CO_2} + W_{CO_2}).
\end{aligned}
\tag{10}
$$

Давление в топке определяется с помощью соотношения

$$P = \left(C_{H_2} + C_{O_2} + C_{\{H_2O\}} + C_{CO} + C_{CO_2}\right) RT^2.$$

Полученная теоретически структура модели описывает динамические процессы в вихревой камере при сжигании водоугольного топлива. Для замыкания задачи моделирования необходимы уравнения кинетики химических реакций (5), разработку которых предполагается осуществить на следующем этапе работы.

УДК 004.056.5

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ РИСКОВ

Киселева Т.В., Маслова Е.В.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Определений риска довольно много. В большинстве известных работ дается свое определение риска. В [1] риск – «это вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда». Т.е. риск – это вероятностная категория, связанная с такими понятиями как вред и финансовые потери, сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятного события, совокупность трех составляющих: рискового события A, вероятности его наступления P и ущерба, им причиненного U, риск есть функция от этих трех составляющих, т.е. $R = f(A, P, U)$.

Существует классификация рисков, подразделяющая их на две группы:

1. Чистый риск, последствия этого риска – отрицательный или нулевой результат.
2. Спекулятивный. Одним из последствий этого вида риска может быть и выгода.

В зависимости от причины возникновения риски делятся на категории: политические, экологические и т.д. Существует еще много оснований для классификации рисков, здесь выделим только информационные. Не секрет, что в наше время самым дорогим товаром является информация, поэтому одним из актуальных вопросов, функционирования предприятия является обеспечение информационной безопасности, а также необходимость вложений в нее.

В [2] дается следующее определение информационного риска - это опасность возникновения убытков или ущерба в результате применения в организации информационных технологий, т.е. эти риски связаны с созданием, хранением, передачей и обработкой информации. Для России это понятие новое, на информационные риски стали обращать внимание только тогда, когда грянул финансовый кризис. Но риск может появиться и в условиях стабильной экономической ситуации. Потери от реализации информационных рисков можно существенно снизить, если ими управлять.

Управление информационными рисками – это комплекс мероприятий по идентификации, анализу и устранению выявленных в структуре информационной безопасности недостатков, связанных с разработкой, эксплуатацией и утилизацией информационных комплексов. [3]

Существует множество стандартов и подходов к управлению информационными рисками. Наиболее известными являются подходы, изложенные в [4, 5], которые представляют собой технологию управления информационной безопасностью. Она должна включать в себя документирование информационной системы, классификацию информационных рисков, их оценку и анализ, управление рисками на всех этапах жизненного цикла ИС, аудит в области информационной безопасности.

В литературе процесс управления рисками представлен следующими этапами [6]:

1. Выбор анализируемых объектов и уровня детализации их рассмотрения.
2. Выбор методологии оценки рисков.
3. Идентификация активов.
4. Анализ угроз и их последствий, выявление уязвимых мест в защите.
5. Оценка рисков.
6. Выбор защитных мер.
7. Реализация и проверка выбранных мер.
8. Оценка остаточного риска.

Управление рисками – это циклический процесс, риски нужно постоянно контролировать и проводить их переоценку. Хорошо выполненная и документированная первая оценка значительно упрощает все последующие. На первом этапе управления информационными рисками следует сосредоточиться на наиболее важных объектах для компании, в том случае, если она небольшая, можно рассмотреть информационную инфраструктуру полностью. В любом случае нужно опасаться бюрократизма, стремиться к упрощению там, где это возможно.

Как правило, для любой компании важными являются абсолютно все составляющие, но все это невозможно включить в анализ, приходится останавливаться на некотором уровне детализации и отдавать себе отчет в его приблизительности. Также при анализе следует учитывать, в который раз он проводится. Если впервые, то предпочтительнее провести более полную оценку, если уже нет, можно ограничиться поверхностным анализом.

Целью оценки рисков являются ответы на вопросы о том, приемлемы ли существующие риски и какие из них нуждаются в уменьшении в первую очередь, а также какие средства защиты лучше использовать. Оценка рисков должна быть количественной, но до сих пор нет четкой методики, позволяющей это сделать. Поэтому чаще пользуются качественной, в простейшем случае трехбалльной шкалой.

При идентификации активов, т.е. всего того, что важно для организации и ее функционирования, следует учитывать не только материальные составляющие, но и такие компоненты информационной системы, как персонал, инфраструктуру, а также нематериальные ценности, например, репутацию компании.

Выделяются следующие виды активов:

1. Информационные ресурсы (файлы, базы данных, документация, отчеты о НИР и т.д.).
2. Программное обеспечение.
3. Материальные активы – серверы, рабочие станции, периферийные устройства, сетевое оборудование, средства коммуникации.
4. Сервисы – сервисы телекоммуникаций, системы обеспечения жизнедеятельности.
5. Персонал, его квалификация, опыт.
6. Нематериальные ресурсы – репутация и имидж компании.

Для каждого актива должен быть определен его владелец, тот, кто за него отвечает.

Далее определяется критичность активов, т.е. какой ущерб организация понесет в случае нарушения информационной безопасности. Это наиболее сложный процесс. Оценка критичности выполняется по трем параметрам: конфиденциальности, целостности и доступности.

Риск появляется там, где есть угроза, угроза - потенциал (или мера) возможности реализации источника угрозы [7], источник угрозы - событие либо ситуация и способ, который может привести к реализации угрозы (в результате использования потенциальной уязвимости). От угрозы риск отличается наличием количественной оценки возможных потерь.

Можно выделить основные источники угроз, среди которых:

1. Угроза природного происхождения (пожар, наводнения, землетрясение).
2. Угроза техногенного происхождения (аварии, отключение электроэнергии и т.д.).
3. Угрозы, исходящие от человека (ошибки, низкая квалификация пользователя, сетевые атаки).

Каждая угроза должна быть детализирована и оценена по шкале значимости (низкая, средняя, высокая).

Присутствие угрозы объясняется наличием уязвимости в защите ИС. Уязвимость – это слабость защиты, условие, позволяющее угрозе причинить ущерб.

При идентификации уязвимостей проводится и их градация, согласно общемировой практике по четырем уровням: критический, высокий, средний, низкий.

В общем случае уязвимости классифицируются так:

1. Уязвимости операционной системы и программного обеспечения (ошибки в программном коде).

2. Уязвимости системы, связанные с ошибками в администрировании.

3. Уязвимости, источники которых не предусмотрены политикой безопасности, события стихийного характера.

Сначала нужно идентифицировать все имеющиеся угрозы, исходя из соображений здравого смысла, но при этом провести их максимально полное рассмотрение. Хорошим тоном при этом считается выявление еще и источников возникновения угроз, поскольку это поможет при выборе средств защиты.

Далее оценивается вероятность ее осуществления и размер возможного ущерба. Все это можно сделать, используя качественную шкалу. Размер ущерба от реализации угрозы зависит от стоимости ресурса, который подвергается риску и от степени разрушительности воздействия на ресурс, выражаемой в виде коэффициента разрушительности.

После всех этих этапов приступают непосредственно к оценке рисков.

Для этого часто применяется самый простой метод – умножение вероятности осуществления угрозы на возможный ущерб. Далее результат приводится к качественной шкале, по которой и оценивается приемлемость риска.

На следующем этапе выбираются защитные меры (контрмеры) и оценивается их стоимость. При этом нужно учитывать не только прямые расходы на приобретения нового оборудования, но и на обучение персонала. Если контрмера экономически выгодна, ее оставляют на рассмотрение, если же нет, то не следует ее сразу сбрасывать со счетов, потому что все сделанные до этого расчеты были приблизительны и на практике расходы могут оказаться не такими большими, или ущерб будет значительно выше, чем предполагалось.

После того, как выбраны меры защиты, их внедряют и проверяют их работоспособность. Если остаточный риск приемлем, то можно назначать дату ближайшей переоценки, если же нет, то весь комплекс анализа и оценки проводится заново.

Управление информационными рисками – это циклический процесс, и к тому же все его процессы связаны между собой, после завершения любого из них может возникнуть необходимость вернуться к предыдущему, особенно это актуально для первичного анализа.

Обязательным условием успешного риск-менеджмента в области информационных технологий является его непрерывность, поэтому переоценка рисков должна проводиться с определенной периодичностью.

Существует четыре способа обработки рисков: принятие (сохранение), уменьшение, передача, избежание.

Уменьшить риск можно разными способами, например, ликвидировав уязвимость, уменьшить вероятность воздействия угрозы на уязвимость или вероятность использования уязвимости.

Методов передачи риска существует два: страхование от него и передача на аутсорсинг компании, специализирующейся на этом.

Четкой методики количественного расчета величин рисков нет до сих пор. В первую очередь это связано с отсутствием нужного объема статистических данных о вероятности реализации угрозы. В результате чаще на практике используется качественная оценка рисков.

Численные методы оценки рисков:

1. Простейшая оценка рисков осуществляется по формуле, заимствованной из теории вероятностей:

$$R = P(V)*D,$$

где R – риск;

D – стоимость его реализации, ущерб;

$P(V)$ – вероятность реализации.

2. Оценка рисков на основе нечеткой логики. Механизмы оценки рисков на основе нечеткой логики включает в себя последовательность следующих этапов:

2.1. Ввод правил в виде ЕСЛИ, … ТО, отражающих взаимосвязь входных данных и риска на выходе.

2.2. Задание функции принадлежности входных данных.

2.3. Получение первичного результата оценок входных данных.

2.4. Нахождение конкретных значений функций принадлежности.

2.5. Проверка истинности условий.

2.6. Нахождение весовых коэффициентов по каждому из правил и функций истинности.

2.7. Нахождение функций принадлежности для каждой выходной переменной.

2.8. Нахождение четких значений выходных переменных.

В настоящее время известно множество *табличных методов* оценки информационных рисков компании. Важно, чтобы компания выбрала для себя подходящий метод, который обеспечивал бы корректные и достоверные воспроизводимые результаты. В методах, рекомендованных стандартами в области информационной безопасности, количественные показатели имеющихся или предлагаемых физических ресурсов компании оцениваются с точки зрения стоимости их замены или восстановления работоспособности ресурса. А существующие или предполагаемые программные ресурсы оцениваются так же, как и физические, то есть путем определения затрат на их приобретение или восстановление. Если обнаружится, что к какому-либо прикладному программному обеспечению предъявляются особые требования к конфиденциальности или целостности, например, исходный текст ПО обладает высокой коммерческой ценностью, то оценка этого ресурса производится в стоимостном выражении по той же схеме, что и для информационных ресурсов.

Количественные показатели информационных ресурсов рекомендуется оценивать по результатам опросов сотрудников компании - владельцев информации, то есть должностных лиц компании, которые в состоянии определить ценность информации, ее характеристики и степень критичности исходя из фактического положения дел. На основе результатов опроса оцениваются показатели и степень критичности информационных ресурсов в случае несанкционированного ознакомления с конфиденциальной информацией, нарушения ее целостности или доступности [7].

Список использованных источников

1. Федеральный закон «О техническом регулировании» (№184-ФЗ от 27.12.2002 г.)
2. Мишель М. Управление информационными рисками [электронный ресурс] / М. Мишель - Режим доступа: http://bre.ru/security/20718.html. - 28.07.2010.
3. Медведковский И.Д. Современные методы и средства анализа и контроля рисков информационных систем компаний [электронный ресурс] / И.Д. Медведковский - Режим доступа: http://www.masters.donntu.edu.ua/2007/kita/borisov/library/res3.htm. - 28.10.2010.
4. ISO 17799 Информационные технологии – Технологии безопасности – Практические правила менеджмента информационной безопасности.
5. ISO 27000 Международные стандарты управления информационной безопасностью.
6. Киселева Т.В. Анализ информационных рисков как механизм обоснования инвестиций в безопасность [текст] / Т.В. Киселева, С.В. Васильев // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: сб.науч.тр. / Сибирский гос.индустр.ун-т, Новокузнецк. – Новокузнецк, 2005. - С. 56-58.
7. Петренко С.А. Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность / С.А. Петренко, С.В. Симонов. - М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2004. - 384 с.
8. Астахов А.М. Искусство управления информационными рисками [текст] / А.М. Астахов – М.: ДМК Пресс, 2010. – 312 с.

УДК 621.777:621.981.213

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНФОРМ

Горохов Ю.В., Губанов И.Ю., Солопко И.В.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Проведена аппроксимация экспериментальных данных по результатам испытаний образцов сплава АД31 на кручение, показывающая зависимость величины сопротивления пластической деформации от степени, скорости деформации и температуры испытаний. Путем разработки программного продукта реализована математическая модель расчета сопротивления деформации материала и температуры непрерывного прессования способом Конформ в зависимости от сочетания различных технологических факторов, определены энергосиловые параметры процесса. Расчетные данные удовлетворительно сходятся с результатами экспериментов, проведенных на лабораторной установке.

При проектировании технологических режимов обработки металлов давлением оптимизация конструкции и формы инструмента путем изучения и анализа характера течения металла в деформационной зоне является одной из задач, решение которой способствует повышению качества изделий и минимизации энергозатрат на деформирование заготовки. В настоящее время разработан ряд принципиально новых схем непрерывного прессования, которые проходят стадию лабораторных и промышленных испытаний. Среди способов непрерывного прессования особое место занимает способ Конформ [1], благодаря техническим и экономическим преимуществам, и широкой сфере применения, причем особенно перспективным он представляется в цветной металлургии. Способ Конформ основан на сопряжении неподвижного инструмента, называемого башмаком, и подвижного, вращающегося инструмента типа колеса с канавкой по периферии, в торце башмака установлена матрица, которая перекрывает канавку колеса. При подаче прутковой заготовки в открытый зазор (канавку) между башмаком и колесом, она продвигается в камеру прессования, образуемую поверхностями башмака и канавки, под действием сил трения по поверхности контакта с вращающимся колесом, и достигает матрицы. Длина камеры прессования определяется величиной центрального угла. В зоне непосредственно перед матрицей заготовка подвергается интенсивному пластическому деформированию ("раздавливанию") и заполняет все сечение канавки (зона захвата при выдавливании) это способствует увеличению сил трения между поверхностью канавки и заготовкой. По мере поворота колеса достигается усилие, необходимое для выдавливания материала заготовки через отверстие в матрице, т.е. начинает-

ся процесс прессования. Зона неполного контакта заготовки с поверхностью канавки (зона первичного захвата) служит для развития давления, необходимого для пластического деформирования материала и заполнения объема в зоне полного контакта, при этом закономерность изменения скорости движения заготовки характеризует коэффициент вытяжки, определяемый отношением площади поперечного сечения камеры прессования к площади сечения отверстия матрицы. В качестве заготовки можно использовать обычную проволоку, причем процесс ее деформирования - втягивание в камеру прессования по мере поворота колеса, предварительное профилирование и заполнение канавки в колесе, создание рабочего усилия, прессование – идет непрерывно, т.е. реализуется технология непрерывного выдавливания.

Технологические задачи обработки металлов давлением в большинстве случаев статически неопределимы. Для их решения необходимы уравнения равновесия, зависимости между деформациями (скоростями деформаций) и перемещениями (скоростями перемещений) и между напряжениями и деформациями (скоростями деформаций). При этом необходимо учитывать уравнения состояния пластичности (условие пластичности), несжимаемости и неразрывности деформаций.

Определение энергосиловых параметров непрерывного прессования способом Конформ можно осуществить методом верхней и нижней оценки и методом баланса мощностей. Оба метода показывают достаточную сходимость расчетных результатов с экспериментальными данными. Одной из основных величин, входящих во все расчетные формулы, определяющие силовые параметры процессов обработки металлов давлением, является сопротивление пластической деформации σ_s. Величина сопротивления деформации при прочих равных условиях (состав сплава, исходное состояние заготовки) есть функция температуры θ, степени деформации ε и скорости деформации ξ. В ранее представленных работах [2] величина σ_s определяется на основании аппроксимации данных по испытаниям образцов на сжатие и растяжение. Однако, метод кручения образцов для определения сопротивления деформации σ_s, является более приемлемым благодаря ряду преимуществ, по сравнению с методами на сжатие и растяжение. Для нахождения величины сопротивления металла деформации при прессовании, скручивание образцов дает наиболее достоверные результаты, т.к. по более широкому диапазону определения скорости и степени деформации можно полностью исследовать одновременно протекающие упрочнение и разупрочнение, найти прочностные и пластические характеристики материалов.

Сопротивление деформации определяется с учетом температуры металла в деформационной зоне, которая в свою очередь зависит от режимов деформирования и охлаждения прессового инструмента, для этого были решены следующие задачи:

1. Аппроксимация экспериментальных данных, полученных методом испытания на кручение условно трубчатых образцов сплава АД31.

2. Расчет температуры в очаге деформации при определенных значениях сопротивления деформации σ_s.

3. Разработка программного обеспечения для нахождения технологических и энергосиловых параметров непрерывного прессования по полученным зависимостям.

4. Сравнение полученных результатов расчета с экспериментальными значениями.

На основании опытов по скручиванию условно-трубчатые образцов [3], получены значения сопротивления, скорости и степени деформации в эквивалентных мерах. Математическую обработку результатов исследования с целью определения действительной точности выполняли по методу выборочного анализа. Испытания проводили для технически чистого алюминия АД-1 и для алюминиевых сплавов трехкомпонентных систем Al-Mg-Si (АД31) и Al-Cu-Mg (Д16). Химический состав исследованных сплавов известен. Выбранный диапазон скоростей деформации включает скорости $\xi=10^{-2}$ – 10^{2} c^{-1} и интервал температур прессования охватывает температуры от 400°С до 550°С. Для аппроксимации экспериментальных данных, полученных методом испытания на кручение условно трубчатых образцов сплава АД31 при различных температурах, соответствующих температурам прессования использовали стандартный пакет Mathcad. Аппроксимация проводилась полиномами второй степени. В результате были построены графические зависимости изменения сопротивления деформации $\sigma s=f(\xi, \varepsilon, \theta)$, показанные на рисунке 1.

Рисунок 1 – График аппроксимации экспериментальных зависимостей $\sigma s=f(\xi, \varepsilon, \theta)$ сплава АД31 в интервале температур прессования

Анализ изменений сопротивления деформации, показанных на рисунке 1, привел к следующим выводам:

– с увеличением температуры θ сопротивление деформации σs падает;

– с повышением скорости деформации ξ величина σs растет;

– при увеличении степени деформации ε сопротивление деформации σs сначала резко возрастает, до максимума, а затем монотонно убывает.

Математическая модель созданного программного обеспечения для расчета технологических параметров непрерывного прессования методом Конформ основана на последовательном решении физико-математических уравнений описывающих закономерности протекания этого процесса с применением заготовки из сплава АД31. Для организации циклического алгоритма в программе задается начальное значение температуры θ, равное начальной температуре заготовки, далее по формуле [2] определяется сопротивление деформации и найденное значение подставляется в уравнение теплового баланса [4], выполнение циклической части программы происходит до сходимости теплового баланса с заданной точностью вычислений. В результате находится значение температуры прессования при определенных величинах сопротивления, скорости и степени деформации.

Для автоматизированного расчета основных технологических и энергосиловых параметров непрерывного прессования методом Конформ разработано программное обеспечение в среде Delphi. Исходной информацией для программы, представленной на рисунке 2, являются геометрические размеры инструмента установки, заготовки, а также изделия. Окно результатов расчета программы показано на рисунке 3. Нажатием кнопки «График», изображенной на рисунке 2, можно вывести на экран полученные графические зависимости: давления от коэффициента вытяжки; крутящего момента от коэффициента вытяжки; температуры от коэффициента вытяжки; температуры от скорости деформации; температуры от центрального угла; крутящего момента от скорости деформации; давления от скорости деформации; сопротивления деформации от скорости деформации.

Рисунок 2 – Интерфейс окна программы

Рисунок 3 – Интерфейс окна результатов расчета

Программные расчеты подтверждены серией экспериментов проведенных по непрерывному прессованию прутковой заготовки диаметром 8,1 мм из сплава АД31 на лабораторной установке, действующей по принципу «Конформ» [5]. На рисунке 4 представлены графические зависимости температуры сплава АД31 в пластической зоне матрицы от коэффициента вытяжки и центрального угла полученные путем расчетов по уравнению теплового баланса и экспериментально.

Рисунок 4 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений температуры прессования сплава АД31

Таким образом, разработанный программный продукт с погрешностью вычислений 5%, позволяет определить температуру в очаге деформации с учетом аппроксимированных данных по результатам экспериментов на кручение условно-трубчатые образцов сплава АД31, а также рассчитать технологические и энергосиловые параметры непрерывного прессования методом Конформ.

Список использованных источников

1. Методы непрерывного прессования/И.Н. Потапов и др.//Цветные металлы, 1987. №3, с.85-88.
2. Вывод уравнения связи свойств алюминиевых сплавов с параметрами горячего деформирования/Я.М. Охрименко, В.Н. Щерба, А.В. Недугов, А.К. Корноухов, А. Боровиков//Цветные металлы, 1983, №2, с.66-69.
3. Грищенко Н.А. Исследование сопротивления деформации алюминиевых сплавов при прессовании. Канд. диссертация, г.Красноярск,1978.
4. Определение температуры металла в очаге деформации при непрерывном прессовании методом Конформ/Горохов Ю.В., Сергеев В.М., Гилевич Ф.С., Антич В.А., Дранишников Б.В.//Технология легких сплавов, 1989, №12, с.27-29.
5. А.с. 1491600 СССР, МКИ В 21 С 23/08. Устройство для непрерывного прессования цветных металлов и сплавов/В.М. Сергеев, В.А. Антич, Ф.С. Гилевич, Ю.В. Горохов, Н.Н. Довженко, А.М. Смирнов (СССР). - №4263556/25-27; заявл. 17.06.87; опубл. 07.07.89, Бюл. №25, 2с.

УДК 658.52.011.56:621.7

АСУ ТП ДСП-40Н1 ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНОГО ЗАВОДА В Г. ЯРЦЕВО

Огнев А.М., Речкалов А.В.

ООО «Сибэлектротерм – Автоматизированные системы, комплексы»,
г. Новосибирск

Современное производство стали на электродуговых печах отличается высокой скоростью протекания физико-химических процессов, большой насыщенностью информации, которую необходимо учитывать по ходу плавки, а так же большим разнообразием стадий технологического процесса, на которых решаются различные задачи, требующие повышенного внимания обслуживающего персонала. Кроме того современные требования к технико-экономическим показателям плавки заставляют снижать время простоев как технологического характера, так и аварийного. Все это может приводить к снижению внимания человека [1], а это в свою очередь влечет за собой увеличение процента ошибочности принимаемых решений, в результате которых происходят инциденты или аварии.

Таким образом, основной целью создания автоматизированной системы является снижение участия человека в управление технологическим процессом, а там, где это возможно – полное устранение. Идеология разработанной нами автоматизированной системы основывалась на таких принципах, как надежность, отказоустойчивость системы, обеспечение максимальной скорости отклика системы на управляющие команды человека, создание эргономичного, интуитивно понятного интерфейса, обеспечивающего мгновенное установление причинно-следственных связей в предаварийных и аварийных ситуациях, своевременная сигнализация о неисправностях оборудования, использование только новейших, но уже проверенных технических средств автоматизации.

АСУ ТП ДСП предназначена для управления процессами выплавки стали в дуговой сталеплавильной электропечи ДСП-40Н1, газоудаления и газоочистки.

Объектом автоматизации являются:

1. механизмы и оборудование ДСП;
2. оборудование системы газоудаления и газоочистки;
3. оборудование насосно-аккумуляторной станции;
4. оборудование печного трансформатора;
5. средства интенсификации плавки в составе:
   5.1. две стеновые комбинированные фурмы-горелки;
   5.2. одна стеновая газокислородная фурма;
   5.3. оконная газокислородная фурма.
6. оборудование весодозирующего комплекса для подачи сыпучих материалов в печь и в ковш при сливе металла;
7. установка для подачи в печь содержащих углерод материалов (УСМ);
8. оборудование маслоохладительной установки печного трансформатора;
9. сталевоз со взвешивающим устройством;
10. два скраповоза со взвешивающим устройством.

По функциональному назначению объекты автоматизации и управления представляют собой трёхуровневую структуру.

Нулевой уровень представлен комплексом приборов, датчиков и оконечных элементов управления. Данный уровень связан с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) первого уровня.

Первый уровень осуществляет функции управления оконечными устройствами нулевого уровня и осуществляет контроль и отображение состояния объектов автоматизации, а также передачу оперативных и архивных данных технологического процесса на верхний уровень АСУТП ДСП-40. Аппаратно уровень реализован на программируемых контроллерах фирмы Siemens и имеет децентрализованную модульную структуру, что позволяет с минимальными усилиями адаптировать систему для других аналогичных агрегатов или поставлять различные подсистемы в составе других АСУ. Функ-

ции визуализации, контроля и управления технологическим процессом возложены на операторские станции и реализованы с использованием SCADA системы WinCC. Каждому функциональному узлу технологической цепочки механизмов ДСП соответствуют отдельные экраны с приведением всех необходимых данных.

Второй уровень выполняет функции мониторинга и управления высокого уровня. Этот уровень реализован как сервер архива WinCC и сервер отчётов (на базе MS SQL Server 2005). Предусмотрен централизованный доступ ко всем рабочим станциям и серверу архивных данных со шкафа сервера (помещение поста управления) посредством LCD KVM Switch.

Отличительной особенностью данной АСУ является реализация функций регулятора мощности на высокоскоростном ПЛК фирмы VIPA с быстродействующими аналоговыми входными модулями, позволяющими оцифровывать и буферизировать сигналы с частотой до 40 КГц. За счет этого на данном контроллере промышленного исполнения реализованы функции не только расчета стандартных электрических характеристик (действующих значений токов и напряжений низкой и высокой стороны печного трансформатора, активной и реактивной мощности каждой из фаз и печи в целом, коэффициента мощности), но и коэффициента тепловой инерционности дуги (постоянной времени изменения проводимости) [2,3], который характеризует стабильность дугового разряда. Изменения этого коэффициента в значительной степени коррелируют со стадиями плавки и позволяют автоматизированной системе в автоматическом режиме определять и включать нужную ступень напряжения на печном трансформаторе, а также динамически определять оптимальную величину регулируемого параметра (импеданса, тока фазы или активного сопротивления фазы). При этом переключение ступени напряжения производится максимально быстро под дугами со снижением нагрузки. Одним из преимуществ реализованного нами регулятора является использование нового алгоритма вычислений по мгновенным значениям всех электрических характеристик, в том числе коэффициентов самоиндукции фаз и взаимоиндукции, что позволяет построить адекватную мощностную характеристику печи, не привязанную к стадиям плавки, а также произвести симметрирование вводимой мощности по фазам.

Кроме вышеперечисленных особенностей в автоматизированной системе реализована возможность передачи содержимого буфера мгновенных значений на станцию визуализации для целей анализа и построения осциллограмм, вольт-амперной характеристики дуги. Также к достоинствам новой системы следует отнести измерение фазных токов с использованием колец Роговоского, успешно зарекомендовавших себя на рудотермических печах ЧЭМК г. Челябинск, на ДСП-25 «Ташкентский трубный завод» г. Ташкент, которые поставлялись нами в составе АСУ.

Автоматизированная система регулятора мощности передает результаты анализа стадий плавки в другие смежные системы:

– систему управления газоудаления и газоочистки, для реализации предварения автоматического выбора нужной производительности дымососа и положения регулирующих клапанов МЭО;

– систему управления средствами интенсификации плавки, которые также могут функционировать в автоматическом режиме.

Проведенный анализ работы газокислородных горелок на других электродуговых печах, позволил выделить три наиболее эффективных режима.

1. Разогрев ближней зоны (начинается в период проплавления колодцев). На данной стадии включение максимальной производительности горелок чревато отражением факела от нерасплавившейся металошихты и последующим дожиганием в газоходе. На этой стадии автоматизированная система управления газокислородными горелками разжигает факел до средней производительности.

2. Прожиг ближней зоны (или режим газокислородной резки). Характеризуется повышением содержания кислорода в газокислородной смеси. Целью этого режима является расширение пространства для основного мощного факела.

3. Разогрев дальней зоны (максимальный ввод мощности).

После получения сигнала от регулятора мощности о том, что период расплавления подходит к концу, газокислородные горелки выключаются. А на смену им включаются кислородные продувочные фурмы. Это позволяет не только экономить энергоресурсы, но и своевременно изменять восстановительную атмосферу в печи, на окислительную, обеспечивая наилучшие условия для рафинирования металла в многостадийных процессах с несколькими подвалками. Таким образом, технолог имеет возможность максимально эффективно настроить систему интенсификации и освободить сталевара (оператора) от выполнения рутинных обязанностей по управлению средствами интенсификации.

Одним из достоинств данной АСУ является также реализация дистанционного, полуавтоматического и автоматического режимов функционирования весодозирующего комплекса. Дистанционный режим повторяет ручной (наладочный) режим, но управление механизмами осуществляется со SCADA системы, это позволяет персоналу в случае возникновения нештатных ситуаций оперативно вмешаться в работу системы весодозирующего комплекса. В полуавтоматическом режиме оператор определяет лишь вес нужного материала и дает команду на отдачу в требуемый агрегат (ДСП, АКП, ковш). При этом система автоматически включает нужную цепочку конвейеров и механизмов, производит дозирование, фиксацию веса и отдачу материала. После выполнения команды (при отсутствии других команд в течение заданного времени), автоматизированная система приводит весодозирующий комплекс в исходное состояние. В автоматическом режиме оператор определяет размер порции (смеси материалов), количество и периодичность отдачи или, в зависимости от выбранной опции, общий на плавку раз-

мер смеси материалов, количество порций и общее время, за которое нужно отдать сыпучие материалы (размер порции при этом рассчитывается автоматически).

В подсистеме теплоконтроля печи для наиболее ответственных температурных зон печи и системы охлаждения реализован алгоритм трехточечного прогноза инерционного роста температуры (адаптивного к процессам, имеющим как ускорение, так и замедление роста температуры). На визуализации выводится предупреждение с указанием времени, через которое температура достигнет аварийных значений и в соответствующем месте мнемосхемы появится окно с обратным отсчетом времени до возникновения аварии.

В системе визуализации каждая система/подсистема оснащена несколькими обязательными вкладками:

– мнемосхема, каждый элемент которой оснащен всплывающими окнами, дающими более полную информацию об узле, что позволяет «разгрузить» экраны и выделить в них только наиболее существенные для работы оператора данные;

– экран готовностей, позволяющий максимально быстро продиагностировать неисправность механизмов, наличие технологических блокировок. Древовидная структура готовностей максимально точно отражает логику работу алгоритмов управления, что освобождает оператора от заучивания особенностей логики управления тем или иным механизмом, а также блокировок и взаимоблокировок. Для установления причины невозможности включения какого-либо механизма печи, оператору достаточно развернуть групповой узел, не имеющий готовности, и двумя-тремя «кликами» мыши точно определить неисправность или блокировку. Неотраженных в дереве готовностей блокировок нет. Таким образом, диагностика состояния оборудования осуществляется не больше чем за 1-2 секунды и в случае возникновения инцидентов оператор однозначно может определить нужную службу для устранения неисправности;

– экран сообщений, в котором сообщения отфильтрованы только по этой системе/подсистеме. Дополнительно можно настроить фильтр на отображение сообщений технологического характера, изменения состояния оборудования, сообщений о действиях оператора;

– экран настроек;

– экран трендов.

Такой подход к навигации обоснован не только соображениями скорости переходов между экранами, но и максимально удобным и полным представлением информации о выбранной системе/подсистеме.

Учет расхода материалов и энергоресурсов представляется в виде паспорта плавки в электронном виде, недостающие данные оператор может ввести непосредственно в электронную форму, которую в последствие можно вывести на печать.

Все вышеперечисленные особенности АСУ позволяют наиболее эффективно и целесообразно использовать энергоресурсы, сократить время технологических операций и разгрузить сталевара (оператора) от решения рутинных задач в пользу повышения качества продукции.

Список использованных источников

1. Флейшман А.Н. Измененные состояния сознания у операторов металлургического производства: медленноволновой и лингвистический анализ / Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии. Труды Всероссийской научно-практической конференции под ред. Мочалова С.П./ СибГИУ. – Новокузнецк, 2001г. – 497 с.
2. Cassie A.M. A new theory of arc rupture and circuit severity // CIGRE. – 1939. –№102
3. Новиков О.Я. Устойчивость электрической дуги. – Л.: Энергия, 1978. – 160 с.

УДК 004.9

ИНФОРМАЦИОННО-ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЦЕМЕНТАЦИИ

Болдин М.В.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Система управления технологическим процессом любого предприятия предназначена, прежде всего, для обеспечения наивысшей эффективности его деятельности. Здесь следует учесть то, что персонал, как неотъемлемая часть такой системы, требует соответствующей подготовки, которая должна осуществляться на самом современном методическом и техническом уровне. Информационно-обучающая система (ИОС), включающая имитатор АСУ ТП, теоретические материалы и систему контроля полученных знаний – это связующее звено в подготовке квалифицированного персонала.

Моделирование реальности – важнейшее преимущество информационных технологий. Возможно не только воссоздать любой объект, но и снабдить его программой, описывающей его поведение в реальных условиях. Благодаря такой «виртуальной лаборатории» человек имеет возможность практиковаться в операциях, максимально соответствующих реальным, имея дело лишь с их электронным аналогом.

ИОС незаменимы при внедрении новой техники и технологий, когда необходимо оперативно обучить или переобучить большое количество работников, при отработке практических навыков работы со сложной техникой и приборами, а также отработке действий в случае возникновения чрезвычайной ситуации. Даже достаточно простые, с программной точки зрения,

тренажеры показывают высокую эффективность при организации учебного процесса.

ИОС являются отдельным классом программного обеспечения, который к настоящему времени получил наибольшее развитие там, где ошибки при обучении на реальных объектах могут привести к чрезвычайным последствиям, а их устранение – к большим финансовым затратам.

По характеру решаемых задач можно выделить три типа ИОС:

– ИОС, предназначенные для отработки практических навыков и знаний (в том числе диагностические, обучающие постановке диагноза, установлению причин неисправности автомобиля, компьютера и т.д.);

– ИОС, предназначенные для отработки моторно-рефлекторных реакций и навыков;

– смешанный тип.

Данная информационно-обучающая система предназначена для исследования и отработки практических навыков и знаний процесса обезблагараживания растворов аффинажного производства, методом цементации, в титановых реакторах.

Данный программный продукт разработан для предоставления возможности для эффективного изучения особенностей проведения технологического процесса цементации, и усовершенствования контроля подготовки, вновь прибывшего персонала по специальности «Цементаторщик», на ОАО «Красцветмет», к самостоятельной работе на оборудовании.

Для функционирования тренажера по экспериментальным данным построена имитационная математическая модель, которая позволяет оперативно контролировать следующие выходные параметры:

– уровень pH раствора;

– содержание серебра в растворе, мг/л;

– внесение в журнал всех действий и ошибок при прохождении обучения.

С помощью КТ можно выбрать оптимальные управляющие воздействия и оценить их влияние на выходные показатели.

В качестве управляющих воздействий используются:

– расход железного порошка в кг;

– расход тиосульфата натрия для медистых растворов в кг;

– уровень pH раствора;

– температура раствора, ºС.

Процесс цементации благородных металлов из растворов проводят в две стадии:

I стадия – железным порошком (первая цементация);

II стадия – железным скрапом (вторая цементация).

При существующем аппаратурном оформлении процесса цементации железным порошком создаются оптимальные параметры температуры раствора (85±5) °С и величиной pH от 1,0 до 2,0.

Процесс первой цементации осуществляется за 1,5-4,0 ч, при этом восстанавливается не менее 90 % благородных и большая часть неблагородных металлов. Наиболее трудно выделяется из раствора иридий.

Вторая стадия цементации проводится для выделения благородных металлов из раствора до установленного норматива.

Вторая стадия обезблагораживания растворов (II цементация) осуществляется в два этапа:

– цементация благородных металлов железным скрапом при величине pH раствора 1,0-2,0 и температуре (90±10) °С;

– гидролитическое соосаждение трудноцементируемых благородных металлов (иридий, серебро) с гидроксидами железа, образующимися при величине pH раствора более 2 и температуре (90±10) °С.

Для увеличения полноты извлечения благородных металлов и сокращения времени выделения их из раствора на второй стадии цементации также применяют тиосульфат натрия.

Самое значительное воздействие на уменьшение концентраций металла в растворе оказывает расход железного порошка.

Не менее важным показателем процесса является кислотность раствора, и для ее контроля класс точности датчиков должен быть не менее 0,1. В настоящее время для контроля кислотности, на рабочем месте применяют индикаторную бумагу ПНД 50-975-84, а при анализе раствора в лаборатории pH-метры. Поэтому об изменении pH раствора по показаниям индикаторной бумаги можно судить только приблизительно и с точностью 0,5.

Другим важным технологическим параметром является температура раствора, которая измеряется термометрами сопротивления. Регулирование температуры в реакторе производится вручную подачей в него горячего пара.

Кроме подачи пара, на температуру раствора влияет подача серной кислоты: при её подаче протекают химические реакции, идущие с выделением тепла. Однако существующие системы регулирования температуры не учитывают тепловой эффект реакций, что значительно снижает их эффективность.

При соблюдении оптимального технологического режима цементации, при максимальной концентрации $\sum$ мпг и Ag в исходном растворе, содержание металлов будет 43-54 мг\л, что соответствует нормативам.

Схематическое представление реактора-цементатора как объекта управления представлено на рисунке 1.

Данный КТ учитывает:

– особенности метода цементации железным порошком (в т.ч. аварийность);

– результаты проведенных процессов цементации для самообучения, адаптации;

– достаточно точную и устойчивую модель объекта, не превышающую, некоторый порог вычислительной сложности;

Рисунок 1 – Схема реактора-цементатора как объекта управления

– обновление «базы знаний» по результатам проведенных «удачных» и «неудачных» процессов (с гибким механизмом формирования критериев отбора);

– неполноту, а иногда недостоверность и противоречивость входной информации;

– отсутствие некоторой информации у АСУ ТП при ее наличии у технологического персонала;

– неспособность некоторых устройств точно отрабатывать управляющие воздействия;

– отсутствие строгой высокоточной аналитической модели объекта управления в явном виде или в виде системы дифференциальных уравнений.

Общий вид КТ приведен на рисунке 2.

На мнемосхеме КТ представлены следующие элементы:

– журнал регистрации действий пользователя;
– время процесса;
– сигнализация;
– реактор-цементатор;
– регуляторы и переключатели для управления параметрами процесса;
– графики температуры и PH;
– анализатор;
– справка.

Так же в обучающей системе предусмотрен оптимальный режим ведения процесса. Процесс цементации будет происходить только в том случае, если обучаемым будут подобраны оптимальные параметры:

– pH 1-2;
– расход железного порошка 12-15 кг;
– температура раствора 85±5 °С.

Рисунок 2 – Общий вид КТ процесса цементации.

Использование КТ позволяет оптимизировать технологический процесс цементация и достичь максимального содержания металлов платиновой группы в растворе, что является показателем высокой эффективности процесса.

УДК 669.181

ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ НАУЧНОЙ ИДЕИ

(на примере создания самоорганизующегося струйно-эмульсионного реактора)

Цымбал В.П.

СибГИУ г. Новокузнецк

Аннотация

В статье в историческом плане рассматривается зарождения и развитие идеи, которая привела к созданию нового металлургического процесса и агрегата, при проектировании которого впервые в мировой металлургии была сделана попытка использования некоторых принципов теории самоор-

ганизации. Созданные при этом процесс и агрегат обладают очень существенными преимуществами перед известными.

Практически одновременно с восьмидесятилетием университета исполняется 50 лет моей деятельности в науке. В январе 1960 года я с семьей переехал из Казахстана, где я работал начальником смены мартеновского цеха, и начал учиться в очной аспирантуре на вновь организованной кафедре автоматизации металлургических процессов.

Думаю, что начать нужно со школы. Несмотря на то, что город Темир-Тау, в котором я учился, был небольшой, однако в школе были очень квалифицированные преподаватели. Благодаря им были получены глубокие и прочные знания, особенно по математике, физике и химии. Следует подчеркнуть, что школьная программа тех лет была четко нацелена на то, чтобы дать фундаментальные знания о природе. Не в пример нынешней лоскутной системе обучения, когда напичканы какие-то слабо связанные друг с другом предметы, а химия, физика стали необязательными. В результате даже лучшие студенты не знают, например, почему не промерзает насквозь вода в озерах, и вообще не могут физично мыслить, не могут ответить на вопрос: и каких веществ состоит земля, по которой они ходят.

Не меньшую благодарность я испытываю к институтским преподавателям. Особенно я бы отметил Владимира Христофоровича Соболева, который преподавал математику настолько интересно и образно, что (в это сейчас трудно поверить) студенты из других потоков добровольно приходили, чтобы послушать его лекции.

Большую роль в моем становлении инженера (именно думающего инженера) сыграл Евгений Яковлевич Зарвин, заведующий кафедрой металлургии стали, который читал лекции, раскладывая буквально по полочкам все понятия. А его крылатая фраза «Сталеплавильщики – сердце завода» заставляла гордиться этой специальностью.

Первым моим шагам уже как ученого, я обязан, конечно, Петру Модестовичу Масловскому. Он руководил аспирантами ненавязчиво, но будучи широко образованным и интеллигентным человеком (интеллигентом старой волны) он мог направить в нужную сторону. По его совету я начал заниматься математическим моделированием процессов обезуглероживания в мартеновской печи. Эта тема была мне близка еще и потому, что работая начальником смены, я во время выпуска плавок занимался подбором рационального содержания марганца в стали при сифонной разливке мелких слитков (36 слитков на поддоне). Очень часто на этих слитках получалась большая головная обрезь (нарастала своеобразная «капуста») и начальникам смен соответственно обрезалась премия. Я заметил, что если удавалась попасть в содержание марганца порядка 0,25-0,30% в кипящей стали, то после разливки слитки очень красиво кипели мелким пузырем, по периферии головной части слитка постепенно намерзал ровный рант и слиток застывал ровной поверхностью. В данном случае исследование имело чисто утилитарный смысл

- спастись от обрезки премии главным инженером. Но, тем не менее, определенный интерес к исследовательской работе при этом проявлялся. Может быть, это и явилось толчком для моего решения поступить в аспирантуру, несмотря на то, что следующей ступенью карьерного роста предполагалась должность заместителя начальника цеха.

Важным моментом моих научных успехов явился и тот факт, что на вновь организованной кафедре автоматизации были приобретены, только что начавшие выпускаться в стране в 1959 году аналоговые вычислительные машины (МН-7, ИПТ-5 и др.), цифровые ЭВМ в то время были очень слабыми, решать динамические задачи они не могли. Благодаря тому, что мы смогли оперативно покупать вновь появляющиеся АВМ, наш только что начавший зарождаться научный коллектив (В.Н. Буинцев, А.Ф. Сакун и др.) оказался на передовых позициях в проблеме математического моделирования металлургических процессов.

После такого введения мемуарного плана, вернемся к истокам зарождения идей самораскипания и самоорганизации. Мне, по-видимому, повезло, что во время обучения в аспирантуре привелось участвовать в опытах Мирона Яковлевича Меджибожского по продувке мартеновской ванны сжатым воздухом. Зрелище самораскипающейся мартеновской ванны меня очень впечатлило и даже, можно сказать, заворожило на всю жизнь. Именно М.Я. Меджибожский одним из первых сделал предположение о возможности саморегулирования мартеновской ванны. Эти его идеи я продолжил сначала в кандидатской, а потом и в докторской диссертации. Мы их воплотили в жизнь благодаря тому, что нашим коллективом (В.Н. Буинцев, А.Г. Падалко, А.Ф. Сакун, Е.Ф. Хорошавин – работник ЦЛАМ КМК и др.) были созданы простые аналоговые вычислительные устройства для непрерывного определения избытка воздуха в газовой фазе печи над теоретически необходимым для сжигания топлива.

Разработка оптимизированных тепловых инструкций к этим вычислительным устройствам и обучение персонала на созданном несколько позже тренажере сталевар позволили получить большой экономический эффект от 10 до 20 тысяч тонн топливного мазута в год. Это было достигнуто практически без затрат (если не считать небольших затрат на простые вычислительные устройства). При этом на 10-15% был снижен расход условного топлива и на 12% расход руды. Это было достигнуто за счет использования эффекта раскипания ванны, т.е. за счет поглощения ванной горячего избыточного кислорода из газовой фазы печи. Это был первый впечатляющий эффект самоорганизации. Причем он был получен в 70-75 годах, то есть еще до появления основополагающих трудов по теории самоорганизации.

В 1981 году в серии «Математика, кибернетика» вышла обзорная брошюра С.П. Курдюмова и Г.Г. Малинецкого «Синергетика – теория самоорганизации» [1]. Для меня это стало приятным сюрпризом. Потому что своей двадцатилетней предыдущей работой я был подготовлен к восприятию идей этой теории. Дело в том, что за время двадцатилетнего опыта матема-

тического моделирования и попыток применения моделей для управления, мы убедились, что управлять такими сложными термодинамическими объектами по заранее заданным траекториям (как, например, движением самолета или ракеты) невозможно. И в этом нас убедили уже первые шаги изучения синергетики, когда мы узнали, что такие сложные объекты как сталеплавильная ванна (по существу, заимствованные у природы) не могут управляться (как объекты механической природы) начальными условиями, и даже при управлении граничными условиями они могут выходить из подчинения.

Как было упомянуто выше, мы уже имели положительный опыт использования явления самораскипания. Возникла мысль попытаться создать новый металлургический процесс с использованием принципов теории самоорганизации.

Прежде чем перейти к последовательному изложению этого вопроса, необходимо остановиться на роли теории самоорганизации (синергетики). Нам иногда задают вопрос такого плана: «Вы создали интересный процесс, использовав какие-то физические эффекты и удачные конструктивные решения, но причем здесь синергетика»? Должен сказать, что в этих решениях роль именно синергетической философии очень существенная. По выражению известного американского философа Олвина Тоффлера [2] синергетика в настоящее время становится важным разделом философии, интегрирующим представления целого ряда наук.

Восприятие идей этой теории позволило нам как-то раскрепостить мышление, уйти от наработанных догм, присущих традиционной металлургии, в которой с середины 19-го века преобладает экстенсивный подход. Стремление к гигантизму агрегатов завело эту металлургию в тупик. В этих условиях синергетическое мышление позволило найти ряд новых решений.

Далее я попытаюсь последовательно изложить, как развивалась идея создания нового металлургического процесса. После изучения первых книг И. Пригожина [3], Г. Хакена [4], а также книги А.Т. Филиппова «Многоликий солитон» [5], первой возникла идея формировать и использовать солитоны для интенсификации массопереноса. Конечно, это первое решение было очень примитивным (рисунок 1), но я решил его показать а том виде, как оно было нарисовано, чтобы четче пояснить дальнейшую эволюцию идеи.

Здесь была сделана попытка реализовать в первом агрегате важнейший принцип синергетики и неравновесной термодинамики – существенное отклонение от термодинамического равновесия за счет перегрева и переокисления расплава, а также осуществить периодическое выталкивание через узкий канал порций расплава, которые формировали бы во втором агрегате уединенные волны (сейчас это решение выглядит примитивно), ну а третий агрегат должен был играть роль агрегата доводки.

Скоро стало понятно, что это решение трудно осуществимо. Дальше начала выкристаллизовываться мысль: первый агрегат должен быть шарообразным, то есть иметь наименьшее отношение площади поверхности к объему. В таком агрегате проще обеспечить прочность при повышении давления,

что необходимо для увеличения степени отклонения от термодинамического равновесия. И второе важное решение – в первом агрегате должен быть создан стабильный режим поддержания газошлакометаллической эмульсии, что в сочетании с повышенным давлением позволит создать вынужденное истечение эмульсии или газовзвеси из первого агрегата. Один из промежуточных эскизов этих решений представлен на рисунке 2.

Рисунок 1 – Самый первый примитивный замысел

Рисунок 2 – Второй вариант решений

На рисунке 3 представлен еще один вариант решений, который уже в какой-то мере напоминает конструкцию установки, реализованной позже в виде опытного агрегата на Запсибе. Здесь есть даже опережающее решение в виде встречных потоков газошлакометаллической эмульсии во втором реакторе для погашения их кинетической энергии с целью защиты стен реактора,

а также уменьшения запыленности отходящих газов. Второй реактор здесь пока еще не заполнен доверху эмульсией (пока еще не додумались). А шлак отбирается пока недалеко от поверхности металла.

Рисунок 3 – Третий вариант решений и мысли о дальнейших шагах

Несколько позже, после ряда обсуждений в творческом коллективе, высота второго (колонного) реактора была существенно увеличена, струя из первого реактора во второй стала подаваться по газодинамически запираемому каналу снизу (под весь столб эмульсии). А шлаковую летку подняли почти под купол второго реактора, где газосодержание эмульсии максимальное, а содержание оксидов железа в шлаке минимальное.

Встречные струи в первом реакторе появились несколько позже, после обсуждения моей задумки создать новый процесс и агрегат в начавшемся постепенно формироваться творческом коллективе, в котором первыми были привлечены профессор К.М. Шакиров – заведующий кафедрой физической химии и молодой кандидат технических наук С.П. Мочалов, защитивший незадолго до этого кандидатскую диссертацию под нашим совместным руководством с К.М. Шакировым.

Здесь мне хочется сделать своеобразное отступление. Шел 1986 год – самое начало периода Горбачевской перестройки и гласности, период надежд на положительные изменения в Государстве. Был некоторый всплеск оптимизма, который возможно как-то подтолкнул меня на такой, скажем, нахальный замах: попытаться создать новый металлургический процесс и агрегат. Но, конечно, было понятно, что решить такую задачу в одиночку невозможно, и я начал привлекать сторонников сначала в своем ближайшем окружении, а затем среди проектировщиков (в то время еще существовавшего Сибгипромеза) и среди производственников Запсиба.

Так, например, контактируя с начальником сталеплавильного отдела Гипромеза А.И. Тороповым, и его директором Н.И. Михеевым я узнал, что прорабатывается проект создания Восточно-Сибирского металлургического завода. В рамках этих проектных исследований они приняли решения за счет своих внутренних средств сделать эскизный проект предложенного нами нового металлургического процесса и агрегата. В течение нескольких месяцев в 1989-90 годах под руководством Н.И. Михеева в Гипромезе собирались еженедельные оперативные совещания, и в результате первый эскизный проект агрегата был создан, что, конечно, явилось хорошей основой для его дальнейшего продвижения. Своими задумками я поделился с директором Запсиба Борисом Александровичем Кустовым и с главным инженером Рафиком Сабировичем Айзатуловым, которые, не будучи формальными хозяевами комбината, на самом деле могли решать и решали любой сложности вопросы, как организационного так и финансового плана. Они действительно обладали чувством нового, и при них Запсиб являлся полигоном для реализации новых технологий. Я рассказал Б.А. Кустову, что задуман процесс на новой теоретической основе, что он существенно отличается от известных процессов и, что непривычно для металлургов, находится под давлением (для начала порядка 3-5 атмосфер). В качестве одного из главного преимуществ задумки представлялась возможность переработки без окомкования пылевидных отходов (шламов газоочисток, омазученной окалины, графита, пылевидной извести и т.д.). Взяв время подумать, он уже во время второй нашей встречи сказал: «Давай будем делать твою «бомбу». А если вы сможете перерабатывать хотя бы 25% шлама и окалины от веса чугуна, я вам памятник поставлю на заводе». Создание агрегата и процесс для переработки пылевидных материалов и стало нашей главной целью. Тогда мы еще не мечтали, что позже сможем создать процесс для прямой переработки 100% металлосодержащего сырья (без жидкого чугуна).

Б.А. Кустов и Р.С. Айзатулов, безусловно, сыграли решающую роль в создании крупномасштабной опытной установки, которую удалось построить во втором конверторном цехе на месте резервной установки для перелива чугуна. С их помощью была создана творческая группа специалистов-технологов и проектировщиков под руководством начальника сталеплавильного производства Валерия Васильевича Соколова, которая просуществовала десять лет с 1991 по 2001 годы. Мы еженедельно собирались у В.В. Соколова по четвергам, а перед проведением очередного эксперимента еще чаще. Благодаря существованию этой группы, плюс административный ресурс, создавалась и совершенствовалась установка. К деятельности этой группы мы еще будем возвращаться.

Теперь же вернемся к вопросу: с помощью, каких конкретных физических и технических решений удалось реализовать несколько важнейших принципов теории самоорганизации? Вернемся к упомянутой выше проблеме создания газошлакометаллической эмульсии, что должно было, во-первых резко увеличить скорость гетерогенных химических реакций, во-

вторых облегчить задачу реализации значительного отклонения процессов от термодинамического равновесия. Во время одного из обсуждений этой проблемы К.М. Шакиров и С.П. Мочалов предложили распылять падающую сверху в шарообразный реактор шихту встречными струями кислорода, вспомнив опыты (ныне покойного) Б.Д. Фишмана по диспергированию встречными струями жидкого алюминия для получения мелких гранул. Использование этого эффекта оказалось плодотворным, но потребовало серьезных исследований.

В месте встречи струй их кинетическая энергия превращается в потенциальную энергию и образуется упругий диск, по краям которого как бы выплескивается энергия. Во время низкотемпературного моделирования этого эффекта в цехе изложниц в 1989 году мы могли даже потрогать этот диск рукой, при продувке холодного азота через встречные сопла (рисунок 4). Здесь же нам удалось организовать (опять же благодаря поддержке Б.А. Кустова) довольно сложный и рискованный эксперимент по продувке жидкого чугуна встречными струями (рисунок 5). При попадании струи чугуна на образующийся при встречных струях диск происходит интенсивное диспергирование чугуна. Изменяя давление азота в сети, мы нашли режимы продувки: когда струя прорывается через этот диск и когда импульс встречных струй становится больше импульса струи жидкого чугуна и он за счет взаимодействия с упругим диском дисперсируется, что и необходимо для создания в первом реакторе больших поверхностей взаимодействия реагентов.

Рисунок 4 – Встречные струи азота

Успех этого эксперимента вселил в нас определенную уверенность и, главное, позволил выбрать рациональные диаметры сопел и расстояния между ними для проектируемого шарообразного реактора. Несколько позже, уже после первых экспериментом на опытной установке, исследования взаимодействия встречных струй были продолжены на аппарате Теплера (рисунок 6). В этих исследованиях участвовали С.П. Мочалов, Е.И. Ливерц, а также сотрудники Института теоретической и прикладной механики СО РАН г. Новосибирск В.П. Фомичев, С.С. Кацнельсон. Целью этих экспериментов

было исследование точности поддержания давления перед каждым из встречных сопел, поскольку это могло быть причиной смещения диска от центра, а, следовательно, и прогара шарообразного реактора.

Рисунок 5 – Обдув чугуна встречными струями

Рисунок 6 – Вид взаимодействия струй

Остановимся еще на одном очень важном решении, которое позволило совместно с предыдущими решениями создать, так называемый, реактор-осциллятор, в котором оказалось возможным реализовать сразу несколько принципов теории самоорганизации (синергетики): большое отклонение от термодинамического равновесия, принцип наименьшего принуждения (Ле-Шателье-Брауна), принцип круговой подчиненности. Это в свою очередь позволило создавать и автоматически поддерживать неравновесный колебательный стационарный режим на любом (в пределах возможности агрегата) уровне.

Для того, чтобы иметь возможность повышать давление в шарообразном реакторе, нужно было найти способ, как управлять истечением двухфаз-

ной среды (газовзвеси или эмульсии) из этого реактора. Были даже мысли (вытекающие из традиционного мышления) поставить в соединительно канале какую-то заслонку, защищенную высокоогнеупорным материалов, взятым, например, из космических технологий. Но, случайно, а может быть и неслучайно, было найдено очень простое и интересное решение.

Во время семинара, приглашенного в наш институт из Института теплофизики СО АН СССР, профессора И. Шрейбера, он на примере аварии на атомной электростанции под Киевом (это было незадолго перед Чернобыльской катастрофой) рассказал, что для того, чтобы при разрыве трубопроводов, подающих охлаждающую жидкость к тепловыделяющим элементам атомного реактора, эта жидкость не смогла быстро вытечь, через определенные промежутки по длине трубопроводов делаются сужения. При аварии за счет парообразования создается двухфазная среда, которая имеет критическую скорость истечения, зависящую от газосодержания смеси.

Поскольку до этого я долго размышлял над проблемой управления давлением в шарообразном реакторе, для меня это явилось приятным сюрпризом. Я понял, что это как раз то, что нам нужно, особенно, после того как изучил очень интересную и содержательную монографию В.Е. Накорякова, Б.Г. Покусаева, И.Р. Шрейбера, Волновая динамика газо- и парожидкостных сред [6]. Использование этого эффекта позволило создать газодинамически запираемый канал, в котором скорость движения двухфазной среды может изменяться в зависимости от ее объемного газосодержания, примерно в 10 раз. В сочетании с ранее описанными решениями это позволило замкнуть задачу создания реактора-осциллятора, схема которого представлена на рисунке 7.

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

Рисунок 7 – Реактор-осциллятор

Внутренний механизм его функционирования осуществляется следующим образом. Химические реакции протекают здесь на диспергированных встречными струями микрочастицах: каплях, пузырьках, твердых частичках (при подаче в реактор пылевидных отходов). Эти частицы играют роль микрореакторов, которые в ансамбле совокупностей создают в объеме реактора поле давлений, концентраций, температур, которое в свою очередь действует по обратной связи на процессы в каждом из микрореакторов. Таким образом, здесь конкретно реализуется принцип круговой подчиненности (и параметров порядка) – один из фундаментальных принципов синергетики (подробнее см. в [4, 7, 8]).

Реализация важного принципа синергетики – значительного отклонения системы от состояния термодинамического равновесия – достигается за счет выбора площади сечения соединительного канала таким образом, чтобы скорость истечения двухфазного потока q_3 находилась в нелинейной области зависимости скорости этого потока от газосодержания

$$\alpha_Г = \frac{V_{CO}}{V_{CO} + V_{КФ}}, \quad q_3 = VS_k = \begin{cases} f(P_p - P_O), при & V \prec V_{кр} \\ V_{кр} = f(\alpha_Г), при & V \succ V_{кр} \end{cases}$$

Эта зависимость иллюстрируется рисунке 8 – заштрихованная область.

Рисунок 8 – Зависимость скорости двухфазного потока от газосодержания

В течении двух лет (1987 – 88 годов) было составлено весьма обстоятельное описание к патентной заявке (более 25 страниц). Большой вклад при составлении заявки внесли С.П. Мочалов и К.М. Шакиров. Эта заявка была принята патентным ведомством практически без корректировок с приоритетом от 24.11.88 г. В 1993 году на основе международной заявки PCT/RV/00325 этот процесс был запатентован в основных металлопроизводящих странах: США, Япония, Республика Корея, страны Европы. Кроме обычных для изобретения признаков (в виде последовательности операций и добавлений элементов в конструкцию агрегата) в описание к этому патенту

была включена совокупность из девяти физических эффектов, среди которых можно выделить:

– использование свойств саморегулирования реакций прямого и косвенного окисления углерода в системе под давлением;

– создание в первом реакторе условий для значительного отклонения системы гетерогенных реакций от термодинамического равновесия;

– создание в первом реакторе повышенного пульсирующего давления путем использования эффекта «самозапирания» соединительного канала в режиме критического истечения двухфазной среды;

– создание высоких удельных поверхностей контакта фаз за счет распыления потока шихты встречными струями;

– использование высокого слоя шлаковой пены во втором реакторе и соединительных каналах в качестве «мокрой» газоочистки.

Реализация совокупности этих эффектов позволила создать своеобразный металлургический реактор – осциллятор, который обладает свойствами универсальности, может быть использован не только в черной и цветной металлургии, но и в других технологических процессах, где продукты реакции могут представлять смесь (эмульсию или газовзвесь) газообразной и конденсированной или твердой фазы.

После того, как концептуально были определены, описанные выше задачи и возможности использования идей и принципов теории самоорганизации, следующей важнейшей ступенью реализации этой схемы явилась необходимость создания взаимосвязанной системы математических моделей разных уровней, описывающих: материальные и энергетические потоки через агрегат в целом; процессы, протекающие внутри отдельных реакторов и на поверхностях раздела фаз; процессы в микрореакторах (микрочастицах). Некоторый задел мы имели по опыту моделирования мартеновской и конвертерной плавки, но здесь встала более сложная задача. Нужно было создавать математические модели для еще не существующих процессов, тем более что в создаваемом процессе, мы ушли от пространственно разделенных металла и шлака в область газовзвеси и эмульсии, тем самым соприкоснувшись с задачами, решаемыми в ракетной отрасли.

Эта сложная и трудоемкая задача решалась в докторской диссертации С.П. Мочалова и в выполненных под его руководством кандидатских диссертациях нескольких молодых выпускников нашей кафедры: В.И. Кожемяченко, С.Ю. Красноперова, И.А. Рыбенко, Л.А. Ермаковой, а также в докторской диссертации С.Н. Калашникова.

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.

С.Н. Калашников совместно с С.Ю. Красноперовым создали на основе развития Excel–приложений очень удобную для пользователей инстру-

ментальную систему моделирования краевых задач тепло- и массообмена по физической постановке близкую к аналоговой. С.Ю. Красноперов, А.Г. Падалко и Е.И. Ливерц совместно со специалистами Запсиба создали систему автоматизации эксперимента с наглядным отображением информации для опытной установки.

Автоматизацию расчетов для широкого круга задач на основе известной базы термодинамических данных «Астра», разработанной в МВТУ, одной из первых на кафедре освоила И.А. Рыбенко. Эта программная система с участием В.Ю. Климова и В.И. Кожемяченко под руководство С.П. Мочалова была очень существенно доработана: дополнена базой данных о тепловых эффектах наиболее распространенных в металлургии химических реакций. С помощью этой программной системы, начиная с 1991 года, И.А. Рыбенко были просчитаны сотни вариантов технологических режимов различных технологий для создаваемого металлургического процесса и агрегата. Следует отметить также работы Ермаковой Л.А., основное содержание ее диссертации связано с моделированием массообменных процессов в дисперсных частицах.

Таким образом, для решения широкого круга вопросов, связанных с разработкой и оптимизацией нового металлургического процесса и агрегата понадобилось создать несколько крупных пакета прикладных программ: тепло- и массообмен, газодинамика двухфазных потоков (скорости, давления) во взаимосвязи с параметрами элементов агрегата, расчеты равновесий и оптимизация режимов статики. Добавим сюда упомянутую выше систему математических моделей самого процесса, а также компьютерную систему отображения и управления. Это дает основания утверждать, что разрабатываемая технология относится к разряду наукоемких, информационных.

Неслучайно, что это нашло отражение в очень малых удельных объемах новых агрегатов (в 10-15 раз меньше, чем в традиционной технологической схеме), низкой энергоемкости (в 1,5 раза) и было с интересом воспринято на ряде международный конгрессов, особенно на конгрессах R′97 и R′99 Recovery. Recycling. Re-integration в Женеве [9], где стенд Запсибметкомбината с видео-демонстрацией нового процесса посетили все руководители секций и семинаров, имеющих отношение к термопроцессам в металлургии. А на заключительном пленарном заседании конгресса его председатель Баррадж сказал, что русские (это мы) привезли металлургический процесс третьего тысячелетия.

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, хотя бы по некоторым параметрам, и переносить результаты для проверки на опытной установке. Следует также отметить направление, связанное с исследованием химсостава и свойств полученных на опытной установке материалов (металла и шлака) до и после их расплавления и выдержки в индукционной печи (Ливерц Е.И., Лубяной Д.А.), кото-

рая рассматривается нами в качестве одного из вариантов устройства для доводки металла.

Еще раз хотелось бы вернуться к роли творческих групп проектировщиков и производственников. Сформировавшаяся в процессе работы над новым агрегатом группа проектировщиков Сибгипромеза под руководством А.А. Рыбушкина в составе: Суздальцева Е.В., Фадеева Ю.П., Дьякова М.И., Омельченко Е.Д., Тигаева С.В. и др., несколько позже, в связи с трудностями, которые испытывали проектные организации, была приглашена директором комбината Б.А. Кустовым на Запсиб в качестве отдельного подразделения: Инженерного центра производства новых технологий. Таким образом, появилась возможность оперативной коррекции различных конструкторских и проектных решений.

Важнейшей составляющей процесса внедрения стало постепенное формирование с помощью руководства комбината творческой группы технологов–производственников на основе ведущих специалистов сталеплавильного производства, а также ряда отделов и лабораторий завода. Руководителями этого коллектива явились главный инженер (а позднее генеральный директор) комбината Р.С. Айзатулов и начальник сталеплавильного производства В.В. Соколов. Начиная с 1991 года эта группа практически еженедельно собиралась на совещаниях, где принимались решения о дальнейших шагах совершенствования опытной установки.

Большую роль в практической реализации конструктивных и технологических решений играл начальник техотдела сталеплавильного производства С.В. Щипанов, а его подчиненная Т.П. Щапова за эти годы создала несколько томов протоколов, через которые ведется контроль принимаемых решений, и архив рабочей документации. По решению руководства комбината (Б.А. Кустова и Р.С. Айзатулова) была создана бригада по обслуживанию установки во главе с В.П. Тютюльниковым в составе: Гилев В.И., Семушкин В.В., Ватолин Н.А., Воронов В.В. и др.

Роль этой бригады и особенно начальника установки В.П. Тютюльникова трудно переоценить. Этому небольшому коллективу пришлось участвовать в сложнейших экспериментах в условиях весьма скоротечного процесса и многое делать впервые в металлургии. Благодаря их большому производственному опыту удавалось в условиях ограниченных возможностей находить относительно простые решения в процессе постепенного совершенствования элементов конструкции установки.

Реализация, совершенствование и эксплуатация установки в условиях действующего цеха была бы невозможна без непосредственного участия специалистов производства: по механическому оборудованию – Григорьев В.А. (в начальный период строительства установки эти обязанности выполнил Щапов С.М.), электрооборудованию Гигенов В.А., Шаталов А., Конев Ю.В., энергообеспечению Сопов Н.И., Пастухов А.Б., Суетов В.Г., Горшков Е.Б., КИП и автоматике – Мельников А.Ф., Казаков В.В., АСУ и ВТ – Кузнецов В.В., Зудин И.В.

В составе творческой группы принимали активное участие представители теплотехнической лаборатории – Семахин В.В., Вяльшина Л.Е., ИЦ «Керамика» - Пресняков А.П., ЦЗЛ – Горбачев В.П., Бабенко Л.Д., Веремей Э.П., Демченко Е.М., Клепиков А.Г. и др., а также заводских отделов главного механика Гайдук В.В., электрика – Блинов В.А., метролога – Алимов А.И., нач. цеха КИП - Матвеев Н.И., АСУ ВТ – Лачков В.А., оборудования – Волховицкий В.А., отдела снабжения – Старосельцев А.Я., технического отдела - Маслаков А.А., Буймов В.А., литейного цеха - Чичков В.И., цеха изложниц – Макаров Э.С., производственных технологий – Селезнев Ю.А. Некоторые результаты совместной работы по созданию и совершенствованию установки и технологии представлены в трудах научно-практических конференций.

Такое сотрудничество ученых, проектировщиков и производственников принесло достаточно хорошие плоды. Несмотря на ограниченные возможности, удалось уже в конце декабря 1992 года выйти на полностью автоматизированный и компьютеризированный эксперимент с первым реактором (пока без второго реактора - отстойника). Этот эксперимент напоминал запуск ракеты (рисунок 9), поскольку из первого реактора вылетала двухфазная струя с объемным газосодержанием порядка 98-100% со взвешенными окисленными частицами металла и шлака. Этот уникальный эксперимент позволил подтвердить правильность основных концептуальных представлений о возможности создания давления в реакторе за счет критической скорости истечения двухфазного потока (был «подвешен» столб чугуна в футерованном литнике высотой более четырех метров). Получены данные о скорости истечения двухфазной струи, ценнейшие данные о гранулометрическом и химическом составе вылетающих частиц и т.д.

Рисунок 9 – Газошлакометаллическая струя из первого реактора

В 1993 году удалось выйти на эксперименты с присоединенным к первому реактору упрощенным вариантом второго реактора (рафинирующего отстойника). В одном из этих экспериментов был получен металл с весьма низким содержанием углерода (0,02-0,03%) при содержании оксидов железа в шлаке 9-10%.

В 1994-95 годах в связи с остротой марганцевой проблемы были сделаны попытки прямого восстановления марганца из пылевидного концентрата путем его добавления к струе чугуна в первом реакторе.

Было получено содержание марганца в металле порядка 8% (близко к стали Гадфильда). В 1995 была сделана попытка прямого получения марганца из пылевидных отходов (без участия чугуна) комбинированным карбосилико-алюмотермическим способом. При этом получен нестандартный силико-марганец (36% *Si*, 29% *Mn*).

После этого появилась надежда, что таким же путем можно выйти на прямое получение железа из пылевидных отходов (омазученной окалины, шламов газоочисток т.д.). Путем термодинамических расчетов удалось получить состав шихты и продувочный режим, открывающий возможность поддержания режима автогенного процесса. Таким образом, была подтверждена возможность прямого получения железа и других сплавов из пылевидных материалов, минуя стадию окомкования. С 1996 года в качестве основной отрабатывается технология переработки окалины и конвертерных шламов, эту технологию с учетом полученных экспериментальных результатов можно считать достаточно реальной.

В 2000 году были проведены эксперименты по переработке титаномагнетитовых концентратов, что может иметь большое значение для черной, цветной металлургии и оборонной промышленности, так как этот агрегат открывает возможность безотходной переработки таких руд с получением железа и титанистого шлака – сырья для производства титана.

За период с декабря 1992 года по ноябрь 2001года на опытной установке было проведено 40 экспериментов, каждый из которых являлся важной ступенью для принятия решений по дальнейшему совершенствованию конструкции агрегата и технологии процесса. Стало ясно, что для дальнейшего продвижения процесса необходимо создание пилотного образца промышленного исполнения.

В начале 2001 управляющим директором Запсиба А.Г. Смоляниновым и исполнительным директором Р.С. Айзатуловым было принято решение о создании совместно с машиностроительным заводом «Сибэлектротерм» пилотного образца агрегата СЭР, который планировалось установить в цехе изложниц для переработки пылевидных отходов (шламов и окалины). Был составлен понедельный сетевой график для всех участвовавших в этом проекте организаций, который успешно выполнялся в течение трех месяцев. Но на Запсиб пришел новый собственник и вопреки ожиданиям прервал ранее запланированное финансирование. Проектирование остановилось на этапе компоновочных решений, но при этом сделан определенный шаг впе-

ред, особенно в смысле дальнейших контактов с машиностроительным заводом. Опытная же установка на Запсибе, к сожалению, покрылась толстым слоем пыли, но свою большую роль она сыграла, позволив подтвердить реальность основных замыслов по созданию нового процесса и возможности реализации новых технологий.

В период после 2000 года продолжались работы по созданию математических моделей и программно-инструментальных систем для разработки новых металлургических технологий и учебного процесса. Разработан комплекс математических моделей и автоматизированная система проектирования гарнисажного охлаждения металлургических агрегатов, что позволяет одновременно решать задачи обеспечения стойкости агрегатов с утилизацией тепла и большой экономии огнеупоров.

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 титаномагнетитовых 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 (рисунок 10) 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 соизмерима со стоимостью получаемого металла [10].

Надеясь, что заинтересованный читатель за более подробными разъяснениями обратиться к первоисточнику [10], здесь мы остановимся лишь на нескольких основных моментах. Газошлаковая эмульсия из рафинирующего отстойника 5 по каналу 11 выжимается под давлением в шлакоприемник 12, в который через канал12 подается пар, который используется для осаждения и грануляции шлака, а затем через решетку 15 выжимается через слой коксика или угля в реформер газа 14 вступая в реакцию $C + H_2O = CO + H_2$, которая является эндотермической. Это позволяет осуществить химическая регенерация физического тепла дымовых газов, то есть снизить температуру продуктов горения и шлака с 1550-1600°С до 750-800°С. Одновременно с этим повышается энтальпия газа за счет обогащения его водородом и несколько увеличивается его объем. Таким образом продукты горения преобразуются в ценный энергетический или даже в синтез-газ.

В последние годы рамках научной школы продолжаются фундаментальные исследования по разработке моделей синергетических процессов и синергетической концепции создания новых металлургических процессов и агрегатов. В 2004-2005 годах коллективом авторов: В.П. Цымбалом, С.П. Мочаловым, С.Н. Калашниковым выпущен трехтомник «Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях», в котором наряду с обобще-

нием и систематизацией известных работ, связанных с теорией самоорганизации и синергетикой, представлены и наши оригинальные результаты.

Рисунок 10 – Агрегат прямого восстановления железа с одновременным получением синтез-газа

В настоящее время проводится информационная и рекламная компания по внедрению в производство разработанного коллективом научной школы нового металлургического процесса и агрегата типа «Самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор» (СЭР). В связи с нарастающими трудностями в традиционной металлургии в последнее время нарастает понимание необходимости существенного изменения ее научно-технического уровня и структуры. Это вселяет надежду на возможность реализации описанных разработок в ближайшем будущем. Появляется возможность включиться совместно с заводом «Сибэлектротерм» в программу государственно-частного партнерства с 50-ти процентным бюджетным финансированием. Это позволит создать пилотный образец технологического мини-модуля на основе агрегата СЭР промышленного исполнения, о чем мы давно мечтаем.

Список использованных источников

1. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика – наука о самоорганизации, – М.: Знание, 1983. – 48с – (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Математика, кибернетика», №6).
2. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: Пер. с анг. /Общ.ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича. и Ю.В. Сачкова.- М.: Прогресс, 1986. – 432 с.

3. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах.- М.: Мир,1979.– 512 с.
4. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 406 с, ил.
5. Филиппов А.Т. Многоликий солитон. – М.: Наука, 1989. – 224 с.
6. Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г., Шрейбер И.Р. Волоновая динамика газо- и парожидкосткостных сред. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.
7. Цымбал В. П. Введение в теорию самоорганизации. С примерами из металлургии: Учебное пособие. Изд. 2-е. стер. СибГИУ. – Новокузнецк, 2001. – 251 с.
8. 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 редакцией В.П. Цымбала. СибГИУ – Новокузнецк, 2005. 264 с.
9. Tsymbal V.P., Mochalov S.P., R.S Aizatulov a.e. // Recovery. Recycling. Reintegration Collectedpapers of the R-97, R-99 International Congress. – Geneva. – Switzerland. – 1997, Vol. 1.- P. 168 – 172. 1999. Vol. 5. – P. 162 – 167.
10. Пат. 2272849 Россия С1. 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; Заявлено 03.12.2007; Опубл. 27.10.2009, Бюл. № 30; Приоритет 03.12.2007.-12с.:ил.

УДК 669.046:536.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВАЮЩЕГОСЯ ОКИСЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Денисов М.А., Бугрин И.С.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Тепловой работой нагревательных печей в современных АСУ ТП управляют локальные системы регулирования температуры в зонах. Задание локальным системам периодически устанавливает персонал в соответствии с технологическими инструкциями. Перспективы развития специалисты усматривают в переводе систем автоматизации на регулирование нагрева по температуре металла (для этого должны создаваться подсистемы автоматизации верхнего уровня). Такое регулирование требует непосредственного измерения температуры металла в камерах печей, которое трудно осуществить, т.к. показания пирометров неоднозначно зависят от температуры поверхности металла (из-за окисления поверхности и отражения ей излучения).

На ряде промышленных печей РФ установлены АСУ ТП с системами автоматизации верхнего уровня, в которых вместо датчика температуры поверхностей металла используется математическая модель процесса теплообмена, определяющая температуру расчетом. Система управления включает два контура: внешний - контур управления температурой металла, в котором

математическая модель совмещает функции датчика и регулятора; внутренний контур - существующая локальная система регулирования температуры в зонах агрегата. Системе управления задается кривая температуры металла по длине печи, которую нужно выдержать, меняя температуру в зонах печи. Для этого регулятор из внешнего контура непрерывно формирует сигнал - температуру в зоне печи, которую должен обеспечивать внутренний контур управления изменением расхода топлива.

Эффективность эксплуатирующихся систем с верхним уровнем управления и перспективы их развития заводами оцениваются неоднозначно. На это повлияло и обилие упрощающих допущений в математических моделях, и проблемы оперативного получения системой необходимой цеховой информации, например, о предстоящих простоях.

Для разработки системы управления нагревом по измерениям температуры поверхности металла, отрабатывался способ бесконтактного измерения температуры в промышленных печах [1, 2]. На нагревательной печи проверялась схема измерения пирометрами, показанная на рисунке 1.

1 – пирометр; 2 – заготовки нагреваемого металла

Рисунок 1 – Схема измерения температуры поверхности металла

В устройствах нагрева газовый объем печи и стенки обычно имеют более высокую температуру, чем нагреваемый металл. Излучение стен и газового объема отражается поверхностью металла в объектив пирометра и это приводит к значительному искажению измеряемой величины. На схеме погрешность измерения температуры уменьшена визированием пирометра на боковые поверхности заготовок, вытянутые в направлении падающего излучения. Соответственно, видимая сверху пирометром поверхность минимальна. Важно и то, что боковые поверхности заготовок не «засвечивают» друг друга, т. к. имеют близкую по величине температуру.

Пирометры измеряют температуру поверхности слоя окалины на металле. Окалина имеет относительно малую теплопроводность, по ее толщине формируется значительный перепад температуры. Поэтому пирометры для контроля процесса нагрева металла можно использовать только в том случае,

если на объекте имеются средства для определения и учета соответствующих поправок к показаниям прибора.

В процессе эксплуатации конструктивные и технологические особенности промышленных печей не меняются; температура и производительность колеблются вокруг некоторых средних величин для каждого вида продукции; современные агрегаты, используют сложные информационные системы со значительным вычислительным ресурсом. В таких условиях ввести необходимые поправки к показаниям приборов несложно, если известен алгоритм их определения.

Способы учета и величины погрешностей измерения температуры металла, определялись в промышленных экспериментах на печи с шагающим подом №3 Нижне-Сергинского метизно-металлургического завода (рисунок 1). В каждом опыте маркером отмечалась одна из заготовок, перемещение которой вдоль печи отслеживалось. Когда заготовка находилась напротив очередного бокового окна печи, через него проводились измерения температуры металла контактной термопарой и пирометрами (рисунок 2а). По данным информационной системы фиксировались показания измерительной аппаратуры печи, соответствующие моменту измерений температуры металла.

Одним из приборов, измеряющих температуру металла был оптический пирометр «Промінь», имеющий предел основной допускаемой погрешности 14 К. Измерения через торцовое окно печи проводились с визированием пирометра на боковые поверхности заготовок, видимые как узкие затемненные полосы, и со значительного расстояния. Для более точного наведения оптической системы на объект прибор во время измерений фиксировался дополнительной опорой. Степень черноты окисленной поверхности заготовок принималась равной 0,8.

Оптические пирометры с исчезающей нитью относятся к числу приборов с субъективными измерениями. Поэтому в одном из опытов измерения температуры металла производились еще и прибором с объективным измерением: ручным радиационным пирометром Термоскоп-100 производства ООО «Инфратест» (www.infratest.ru). Пирометр модели ВТ имеет лазерное целеуказание, диапазон измерения от 600 до 2000°С, показатель визирования 300:1, погрешность измерения 0,5%. Измерения им проводились по схеме рисунка 1 через боковое окно печи.

По результатам измерений сделан ряд выводов. В томильной зоне печи (в конце нагрева) заготовки прогреты по сечению довольно равномерно и их температуры, измеренные контактной термопарой и оптическим пирометром близки по величине. Показания оптического пирометра, измеряющего температуру наружной поверхности окалины, оказались ниже, что объясняется небольшим охлаждающим влиянием на металл пода печи. В сварочных зонах (участки кривых с растущей температурой) идет процесс нагрева металла и температура окалины более высока, чем температура металла под ней. Соответственно, измерения оптическим пирометром дали более высо-

кие значения температуры, чем измерения контактной термопарой. Величина разницы температуры не противоречит имеющимся в литературе расчетным оценкам величины перепада температуры по толщине окалины. Результаты измерений использованы при построении кривых $t_{МВ}$ и $t_{МЦ}$ на рисунке 2а.

Рисунок 2 – Результаты исследования теплового режима печи (а); фрагмент конечно-элементного разбиения заготовки при моделировании нагрева металла со слоем окалины сверху (б); сравнение перепадов температуры по толщине окалины (в), определенных расчетом для условий опытов 2 и 3 (*dt*2, *dt*3), и экспериментальные значения поправок к показаниям пирометра, полученные в соответствующих обозначению опытах (*dt*1*on*, *dt*2*on*, *dt*3*on*). $t_{МВ}$, $t_{МЦ}$ – температура верхней поверхности и в центре заготовок, соответственно; $t_Г$, $t_{КЛ}$ – температура печной среды и кладки, соответственно; Г – график продвижения «опытной» заготовки по длине печи

Радиационный пирометр Термоскоп-100 в опытах использовался недостаточно для обоснованных суждений о его эффективности. Расхождения показаний с показаниями оптического пирометра отмечались, но могли быть вызваны неравномерным полем температуры окалины (оптический пирометр визировался на равномерно светящиеся участки заготовок более точно).

Для определения погрешностей бесконтактного измерения температуры металла разработан метод расчета, позволяющий учитывать изменение размеров заготовки и слоя окалины в процессе нагрева [3]. Разработана математическая модель расчета процесса нагрева и окисления металла в среде вычислительного пакета ANSYS Myltiphysics (фрагмент конечно-элементного разбиения сечения заготовки показан на рисунке 2б). В модели динамика изменения толщины окисленного слоя описывается по [4, 5].

Выполнены расчеты окисления и теплообмена в заготовках металла, нагревавшихся в условиях двух опытов на печи с шагающим подом НСММЗ. На рисунке 2в расчетные величины перепадов температуры показаны сплошными кривыми. Экспериментальные значения перепадов (поправок к показаниям пирометра) на рисунке показаны точками.

Сравнение показывает, что данные расчетов и экспериментов совпадают тем лучше, чем больше время от начала нагрева. Возможно, это связано с большой погрешностью измерений оптическим пирометром в диапазоне времени 50-70 мин (температура металла равна 700-850 °С).

Работа показала применимость методов пирометрии для непрерывного контроля температуры металла в камерах промышленных печей. Возникающие при этом погрешности из-за отражения излучения могут учитываться методами математического моделирования.

Список использованных источников

1. Денисов М. А. Способ мягкого контакта и приборы для измерения температуры поверхностей твердых тел//Измерительная техника. 2003. №1. С. 40-43.
2. Денисов М. А., Соловьев К. Г. Расчетно-экспериментальный метод исследования нагрева металла и выбора режимов.- Сталь, 2010, №2, с. 90-95.
3. Денисов М. А., Бугрин И. С. Метод эквивалентной теплопроводности для расчета нагрева тел с размерами, меняющимися при фазовых превращениях// Теплофизические основы энергетических технологий: Сб. трудов Всероссийской научно-практ. конф., Томск.2010. с.78-82.
4. Birks N. and Jackson W. A quantitative treatment of simultaneous scaling and decarburization of steels. Iron and Steel Inst., January,1970, p.81-85.
5. Kubaschewski O. and Hopkins B. E. «Oxidation of metals and alloys», 231; 1962, Butterworths.

УДК 681.3:669.02.09

ИНФОРМАЦИОННО-СОВЕТУЮЩАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Горенский Б.М., Кирякова О.В., Капустина С.В., Лапина Л.А.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Анализ разработок в области теории и методов обеспечения процессов функционирования сложных интегрированных технических систем управления показывает, что к числу наиболее ответственных относятся разработки систем автоматического управления для металлургических производств. Процесс аффинажа платины является хорошо отработанным и обычная обратная связь, связанная с проведением химического анализа проб, не дает эффекта из-за низкого быстродействия. Технологические процессы аффинажа относятся к многостадийным процессам с распределенными параметрами, где на каждой стадии выполняется одна законченная технологическая операция, поэтому используются системы автоматического регулирования только отдельных параметров [1,2]. Управление осуществляется вручную по показаниям приборов, установленных на рабочих местах. Основные параметры измеряются со значительной погрешностью и запаздыванием. Получение необходимого эффекта в подобных процессах возможно только в случае управления с элементами прогнозирования. Для разработок таких систем управления требуется задания математических зависимостей или формул [3], с помощью которых система управления на основании измеряемых датчиками некоторых параметров, могла бы определять недоступные измерению параметры и оценивать возможные конечные результаты процесса с элементами прогнозирования управления [4,5].

При моделировании технологии аффинажа платины был использован метод мгновенных балансов, основанный на уравнениях материального и теплового балансов, и метод нисходящего моделирования. Отличительной особенностью метода является возможность расчета состояния технологического процесса на последующей стадии только по информации, полученной на предыдущей стадии. Использование такого подхода позволило отказаться от физических датчиков, так как применяется математический имитатор основных параметров производства. Процесс управления реализуется как за счет оптимального выбора управляющих воздействий на каждой стадии, так и за счет согласования основных параметров на различных стадиях [2,3], расчет которых производится по математической модели. Информационно-советующая система управления реализована в виде компьютерного тренажера. Блок-схема алгоритма работы компьютерного тренажера представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма работы компьютерного тренажера

Методику составления материального баланса покажем на примере первой стадии аффинажа – осаждении соли гексахлороплатината аммония (ГХПА-1). Следует сделать следующие замечания о протекании данного процесса.

Здесь имеет место основная химическая реакция:

$$Na_2[PtCl_6]+2NH_4Cl \rightarrow (NH_4)_2[PtCl_6]\downarrow+2NaCl.$$

Процесс экзотермический и ведется с избытком хлорида аммония. Реакция осаждения платины является гетерогенной. При гетерогенных реакциях взаимодействующие вещества находятся в различных фазах (агрегатных состояниях), а процесс химического превращения протекает на границе раздела этих фаз.

Составим материальные балансы по основным элементам процесса аффинажа платины:

$$dG/dt = \sum_{i=1}^{n} G_i \ ,$$

где n – число исходных компонентов;
G – количество вещества в аппарате;
G_i – суммарный поток веществ.

Поток по платине имеет вид:

$$dG_{Pt}/dt = G_{BX} + G_{X.B} + G_{ВЫХ},$$

где $G_{вх}$ – входной поток;
$G_{X.B}$ – поток химического взаимодействия;
$G_{ВЫХ}$ – выходной поток.

Платина поступает на аффинаж в виде воднорастворимой соли, математическая модель входного потока по платине представлена формулой

$$G_{BX} = V_{исх} * C_{Pt},$$

где $V_{исх}$ – объем хлоридного раствора, поступающего на аффинаж платины, л;
C_{Pt} – концентрация платины в хлоридном растворе, г/л.

Математическая модель потока химического взаимодействия имеет вид

$$G_{X.B} = k * C_{NH4Cl} * V_0,$$

где k – константа скорости реакции;
C_{NH4Cl} – концентрация хлорида аммония в растворе, г/л;
V_0 – величина активного объема, м^3.

Платина содержится в продуктах взаимодействия реагентов - осадке и частично в растворе, поэтому математическое описание выходного потока имеет вид

$$G_{ВЫХ} = b^* (V_c^* C^c_p + V_{р\text{-}ра}^* C_{Pt}),$$

где b – коэффициент, зависящий от режима отвода реагентов из аппарата;
V_c – объем осажденной соли, м;
C^c_{Pt} – концентрация платины в осажденной соли, г/л;
$V_{р\text{-}ра}$ – объем выходного раствора, л;
C_{Pt} – концентрация платины в выходном растворе, г/л.

Материальный баланс по платине имеет вид:

$$dG_{Pt}/dt = V_{исх}^* C^{р\text{-}р}_{Pt} + k^* C_{NH4Cl}^* V_0 - b\,(V_c^* C^c_{Pt} + V_{р\text{-}ра}^* C_{Pt}).$$

Составим материальный баланс по аммонию.

Поток по аммонию

$$dG_{NH4^+}/dt = G_{вх} - G_{вых}.$$

Аммоний поступает на аффинаж в растворе, математическая модель входного потока по аммонию будет выглядеть следующим образом:

$$G_{вх} = V_a\text{-}C^{р\text{-}р}_{NH4^+},$$

где V_a – объем заливаемого хлорида аммония, л;
$C^{р\text{-}р}_{NH4^+}$ – концентрация аммония в заливаемом растворе хлорида аммония, г/л.

Аммоний содержится в осаждаемой соли; математическую модель входного потока можно представить в виде формулы

$$G_{вых} = b^* V_c^* C^c_{NH4^+},$$

где $C^c_{NH4^+}$ – концентрация аммония в осажденной соли, г/л.

Таким образом, материальный баланс по аммонию будет иметь вид

$$dG_{NH4^+}/dt = V_a^* C^{р\text{-}р}_{NH4^+} - b^* V_c^* C^c_{NH4^+}.$$

Суммарный материальный баланс по платине и аммонию выглядит следующим образом:

$$dG/dt = V_{исх}^* C^{р\text{-}р}_{Pt} - k^* C_{NH4^+}^* V_0 - b^*(V_c^* C^c_{Pt} + V_{р\text{-}ра}^* C^р_{Pt}) + V_a^* C^{р\text{-}р}_{NH4+} - b^* G_c^* C^c_{NH4^+}.$$

Рассмотрим тепловой баланс первой стадии процесса аффинажа платины. Общий тепловой баланс первой стадии имеет вид

$$dQ/dt = \sum Q_i,$$

где n – число тепловых потоков;
Q – количество тепла в аппарате;
Q_i – суммарные потоки тепла в реакторе.

Дифференциальное уравнение теплового баланса также необходимо выразить через переменные процесса аффинажа платины. Уравнение суммарного теплового потока процесса аффинажа платины выглядит следующим образом:

$$Q_i = Q_{вх} + Q_{х.в} + Q_{ВЫХ} - Q_{тп} \pm Q_0,$$

где $Q_{ВХ}$ – входной тепловой поток;
$Q_{Х.В}$ – количество тепла, выделяемое при химических взаимодействиях;
$Q_{ВЫХ}$ – выходной тепловой поток;
$Q_{тп}$ – тепловые потери;
Q_0 – тепловой поток от внешних источников.

Входными потоками являются поток хлоридного раствора и хлорида аммония. Уравнение входного теплового потока примет вид

$$Q_{ВХ} = \lambda_{р\text{-}ра} * V_{1\,р\text{-}р} * T_{р\text{-}ра} + \lambda_{NH4Cl} * V_{NH4Cl} * T_{NH4Cl},$$

где $\lambda_{р\text{-}ра}$ – удельная теплоемкость хлоридного раствора;
$V_{1р\text{-}р}$ – объем заливаемого хлоридного раствора, л;
$T_{р\text{-}ра}$ – температура хлоридного раствора, °С;
λ_{NH4Cl} – удельная теплоемкость хлорида аммония;
V_{NH4Cl} – объем заливаемого хлорида аммония, л;
T_{NH4Cl} – температура хлорида аммония, °С.

Для поддержания температурного режима подается горячая вода, поэтому тепловой поток

$$Q_0 = \lambda_{Г.В} * G_{Г.В} * T_{Г.В},$$

где $\lambda_{Г.В}$ – удельная теплоемкость горячей воды;
$G_{Г.В}$ – расход горячей воды, л;
$T_{Г.В}$ – температура горячей воды, ^{0}С.

Тепло из аппарата отводится с получаемым раствором и с осажденной солью, выходной поток

$$Q_{ВЫХ} = \lambda_{соли} * m_c * T_c + \lambda_{NaCl} * V_{NaCl} * T_{NaCl},$$

где $\lambda_{соли}$ – удельная теплоемкость осаждаемой соли;
m_c – масса осаждаемой соли, кг;
T_c – температура соли, °С;
λ_{NaCl} – удельная теплоемкость получаемого раствора;

V_{NaCl} – объем получаемого раствора, л;

T_{NaCl} – температура получаемого раствора, °С.

Тепловые потери

$$Q_{ТП} = \lambda_p\, m\text{-}(T_в\text{-}T_н),$$

где λ_p – удельная теплоемкость реактора;

m – масса реактора, кг;

$T_в$ и $T_н$ – внутренняя и наружная температура стенок реактора, °С.

В результате химической реакции выделяется тепло:

$$Q_{Х.В} = q*v,$$

где q – тепловой эффект реакции, отнесенный к молю исходного вещества;

v – число молей исходного вещества.

Таким образом, тепловой баланс первой стадии имеет вид:

$$dQ/dt = \lambda_{р\text{-}ра} *V_{1р\text{-}р}*T_{р\text{-}ра}+\lambda_{NH4Cl}*V_{NH4Cl}*T_{NH4Cl}+\lambda_{г.в.}*G_{г.в}*T_{г.в}\text{-}\lambda_{соли}*m_c*T_c\text{ -}$$
$$\text{-}\lambda_{NaCl}*V_{NaCl} * T_{NaCl} - \lambda_p * m*(T_B\text{-}T_H) + q*v.$$

Полученные уравнения материального и теплового балансов использованы для построения математической модели функционирования первой стадии аффинажа платины. Математические модели функционирования остальных стадий построены по приведенной выше методике и позволяют исследовать процессы, протекающие на данных стадиях.

Структура информационно-советующей системы управления представляет собой три подпрограммы (объединенные головной программой): осаждения соли ГХПА-1; прокаливания ГХПА-1; хлорирования ГХПА-1. Головная программа предусматривает выбор запуска ознакомительного режима работы любой из трех подпрограмм; возможен выбор варианта задания начальных или промежуточных исходных данных (если процесс аффинажа ведется не с первой стадии). Для этого необходимо в головной программе выбрать пункт меню «Задания» и внести корректирующие изменения.

Система управления процессом аффинажа написана на языке программирования *Delphi*. На рисунке 2 представлен интерфейс системы: мнемосхема стадии осаждения соли ГХПА-1, приведены условная схема реактора, в котором производится осаждение, и все кнопки управления процессом; динамический протокол температурного режима.

Реализация управления информационно-советующей системой осуществляется следующим образом: кнопки управления моделью позволяют управлять процессом в реальном времени (значение «О» или «1»), либо с заданным ускорением. Предоставляется выбрать режим подачи хлорида аммония (ручной или автоматический) с помощью переключателя «режим подачи хлорида аммония». Изменение температуры в реакторе можно наблюдать в окне «Тепловой эффект химической реакции». Химическая апробация рас-

твора позволяет следить за свободной концентрацией хлорида аммония, значение которой можно скорректировать с помощью переключателя «Избыток NH_4Cl» (кнопка «добавить»). Динамический скачок температуры на графике позволяет определить окончание процесса осаждения. Нажатием на кнопки «состав раствора» и «помощь» вызываются окно состава маточного раствора и окно рекомендаций. С помощью кнопки «перезапуск» можно перезапустить весь процесс заново. Выход из программы осуществляется нажатием на кнопку «выход».

Рисунок 2 – Интерфейс модели участка осаждения соли ГХПА-1

При синтезе диагностических моделей для систем оперативного управления и диагностики состояния технологического процесса основным источником знаний является эмпирический материал. Для верификации данной системы – оценки ее согласованности и достоверности – была проведена апробация на реальных растворах одного из российских предприятий. Система показала хорошую сходимость производственных данных и работы экспертной модели. В перспективе возможности данной системы можно расширить за счет введения дополнительных управляющих воздействий (например, возможность введение коагулянтов, других химических реагентов).

Разработанная информационно-советующая система управления металлургическим объектом может быть применена для исследования функционирования реального технологического процесса, реализации управления технологическим процессом в режиме «советчика», так как предусмотрена выдача советов оператору по принятию тех или иных решений. Использование компьютерного тренажера позволяет оператору в диалоговом режиме выбрать управляющие воздействия и проанализировать их влияние на выходные показатели. Если значения выходных показателей устраивает оператора, то данные управляющие воздействия переносятся на реальный процесс; если не устраивает, то имеется возможность продолжить выбор и отра-

ботать основные принципы желаемого управления процессов аффинажа платины.

Представляет интерес использование данного тренажера для обучения специалистов металлургических специальностей, тренировки персонала аффинажного производства. За счет наглядности и имитации реальных технологических ситуаций и режимов, многочисленных повторений появляется возможность значительно улучшить качество обучения.

Список использованных источников

1. Горенский Б.М. Автоматизированные системы имитационного управления объектами цветной металлургии [Текст]; монография / Б.М. Горенский; ГАЦМиЗ. Красноярск, 2002.
2. Горенский Б.М. Новые информационные технологии в управлении металлургическими процессами [Текст]: лаб. практикум / Б.М. Горенский, Г. Б. Даныкина, О. В. Кирякова; ГУЦМиЗ. Красноярск, 2006.
3. Говоров А.Н. Коалиционно-иерархическая игра в условиях неопределенности [Текст]; статья/- М.: Наука, 2008.
4. Горенский Б.М. Оценка уровня совершенствования технологических переделов производства тяжелых цветных металлов методами компьютерного моделирования [Текст]; статья /Б.М. Горенский, О.В. Кирякова, Л.А. Лапина, Д.Н. Гронь; журнал СФУ, №4, 2009.
5. Александрова Н.А. Верификация экспертной информации при построении систем оперативного управления и диагностики технологических процессов [Текст]; статья/ Александрова Н.А., Куркина В.В., Рудакова И.В., Русинов Л.А.;- М.: Новые технологии, журнал « Мехатроника, автоматизация, управление», 2007.

УДК 681.3:669.02.09

ОБУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОЙ СППР ПЛАВКИ В ПЕЧИ ВАНЮКОВА

Лапина Л.А., Горенский Б.М., Кирякова О.В., Капустина С.В.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Анализ состояния автоматизации технологических процессов в цветной металлургии показывает, что системы автоматического управления развиты недостаточно. Это в первую очередь объясняется отсутствием средств автоматического контроля технологических параметров по ходу процесса. Для решения возникшей проблемы можно использовать виртуальную систему поддержки принятия решений (СППР) которая позволяет реализовать автоматическое управление при воздействии случайных возмущений и при неполной информации об изменении технологических параметров по ходу процесса. Наличие виртуальной СППР позволяет дополнительно реализо-

вать адаптивное управление с целью достижения высоких технико-экономических показателей технологического процесса вообще и технологического процесса плавки в печи Ванюкова (ПВ) в частности. Работу виртуальной СППР в режиме адаптивного управления рассмотрим на примере конкретного технологического процесса плавки в ПВ.

При реализации управления технологическим процессом плавки в ПВ основная проблема заключается в определении управляющего воздействия, которое необходимо приложить к объекту управления (ОУ). Расчет управляющего воздействия производится при использовании СППР, которая включает в свой состав реальный объект управления, систему диагностики, виртуальную модель объекта управления, выполненную на базе компьютерного тренажера (КТ) и локальные автоматизированные системы расчетов (АСР), предназначенные для управления реальным объектом управления. Структурная схема СППР приведена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Структурная схема СППР

Процесс плавки в ПВ характеризуется значительным количеством технологических параметров (более сорока), большинство из которых недоступно автоматическому непрерывному контролю. В результате выполненных исследований на промышленной печи Ванюкова с той или иной степенью точности получена информация о семнадцати технологических параметрах.

На основании текущей информации о состоянии процесса первоначально было разработано математическое описание процесса плавки в ПВ

(1), которое представляет собой совокупность регрессионных зависимостей для расчета содержания меди в шлаке ($C_{Cu\ шл}$), количества шлака ($G_{шл}$), количества штейна ($G_{шт}$), содержания меди в штейне ($C_{Cu\ шт}$), содержания оксида серы в отходящих газах (G_{so2}):

$$
\left.
\begin{aligned}
&G_{шл} = 0{,}4*(0{,}0188*G_{ших}^2-1{,}175*G_{ших}+33{,}573)+\\
&+0{,}2*(-0{,}0005*Vд^2+0{,}2497*Vд+14{,}644)+\\
&+0{,}2*(-0{,}0003*VO_2^2+0{,}3007*VO_2+13{,}872)+\\
&+0{,}1*(0{,}0155*C_sших^2+0{,}5204*C_sших+13{,}537)+\\
&+0{,}1*(-36{,}828*Влажн^2+387{,}02*Влажн-976{,}31);\\
&G_{шт} = 0{,}4*(-0{,}0007*G_{ших}^2+0{,}5058*G_{ших}-15{,}455)+\\
&+0{,}2*(0{,}001*Vд^2-0{,}0826*Vд+13{,}905)+\\
&+0{,}2*(-0{,}0012*VO_2^2+0{,}1695*VO_2+9{,}2407)+\\
&+0{,}1*(0{,}0086*C_{s_ших}^2+0{,}8769*C_{sших}-0{,}0201)+\\
&+0{,}1*(-3{,}7291*Влажн^2+34{,}162*Влажн-60{,}654);\\
&C_{Cu\ шл} = 0{,}4*(0{,}001*G_{ших}^2-0{,}1155*G_{ших}+4{,}0623)+\\
&+0{,}2*(0{,}00006*Vд^2-0{,}0105*Vд+1{,}2136)+\\
&+0{,}2*(0{,}0002*VO_2^2-0{,}0233*VO_2+1{,}404)+\\
&+0{,}1*(0{,}0027*C_{s\ ших}^2-0{,}0635*C_{sших}+1{,}0135)+\\
&+0{,}1*(0{,}2233*Влажн^2-2{,}57*Влажн+8{,}2358);\\
&C_{Cu\ шт} = 0{,}4*(0{,}0031*G_{ших}^2-0{,}2167*G_{ших}+44{,}711)+\\
&+0{,}2*(-0{,}0014*Vд^2+0{,}2134*Vд+36{,}261)+\\
&+0{,}2*(-0{,}0045*VO_2^2+0{,}525*VO_2+29{,}66)+\\
&+0{,}1*(0{,}0184*C_{s\ ших}^2-0{,}2527*C_{sших}+40{,}701)+\\
&+0{,}1*(0{,}6254*Влажн^2-9{,}9949*Влажн+79{,}482);\\
&G_{so2} = 0{,}4*(0{,}0071*G_{ших}^2-0{,}562*G_{ших}+31{,}875)+\\
&+0{,}2*(-0{,}0005*Vд^2+0{,}138*Vд+15{,}75)+\\
&+0{,}2*(-0{,}0005*VO_2^2+0{,}1438*VO_2+16{,}575)+\\
&+0{,}1*(-0{,}0024*C_{s\ ших}^2+0{,}5502*C_{sших}+12{,}993)+\\
&+0{,}1*(-0{,}9356*Влажн^2+12{,}596*Влажн-17{,}182)
\end{aligned}
\right\} \quad (1)
$$

где $G_{ших}$ – количество подаваемой шихты;
$Vд$ – количество дутья;
VO_2 – концентрация кислорода в дутье;
$C_{s\ ших}$ – концентрация серы в шихте,
$Вл.$ – влажность шихты.

Таким образом, полученная ММ позволяет рассчитать изменение основных технологических параметров по ходу процесса.

СППР работает следующим образом. На первом этапе в зависимости от значения выходного параметра производится расчет управляющего воздействия, правильность выбора которого проверяется с помощью в динамике и осуществляется его корректировка в случае необходимости. Если резуль-

таты управления с помощью виртуальной модели устраивают технолога, то выбранное управляющее воздействие прикладывается к реальному ОУ. Расчет управляющих воздействий проводится по основным входным параметрам, которые оказывают определяющее влияние на технологический процесс.

Решение проблемы повышения эффективности технологического процесса плавки в ПВ достигается путем использования СППР, построенной на принципах машинной имитации технологического процесса и системы управления.

Разработанная СППР может работать в трех основных режимах: ручном режиме, в автоматизированном режиме с указанием величины управляющего воздействия и автоматическом режиме при котором величина управляющего воздействия рассчитывается и реализуется автоматически.

Особенностью функционирования СППР в простом (ручном) режиме подсказки является то, что система указывает какие входные (управляющие) параметры необходимо изменить, не указывая насколько. Изменение величины управляющего воздействия производится вручную оператором или технологом исходя из имеющегося опыта и анализа текущего состояния процесса. После корректировки управляющего воздействия производится проверка эффективности выбранного управления с помощью виртуальной модели. Общий вид экранной формы СППР, работающей в ручном режиме приведен на рисунке 2.

Рисунок 2 – Режим ручного управления

Для реализации управления во втором и третьем режимах необходимо рассчитать величину управляющего воздействия. Расчет производится на основании уравнений, учитывающих текущее изменение основных выходных и входных параметров. С этой целью составлены математические модели для расчета управляющих воздействий, которые представляют собой си-

стему двух уравнений (2) и позволяют рассчитывать подачу воздуха $V_д$ и количество загружаемой шихты $G_{шх}$ в зависимости от отклонения текущего значения параметра от заданного (оптимального) значения выходного параметра. Остальные управляющие параметры рассчитываются аналогично. Рассчитанные управляющие воздействия выводятся в виде подсказки на мнемосхему СППР при работе в автоматизированном режиме или реализуются автоматически при работе в автоматическом режиме.

$$\left.\begin{aligned} V_д = a_0 + a_1\,(G_{шт.з} - G_{шт.i}) + a_2(G_{шл.з} - G_{шл.i}) + a_3(C_{мшл.з} - C_{мшл.i}) + \\ +a_4(C_{шл.з} - C_{шл.i}) + a_5(G_{г.з} - G_{гi}); \\ G_{шх}(\mathrm{t}) = b_0 + b_1\,(G_{шт.з} - G_{шт.i}) + b_2\,(G_{шл.з} - G_{шл.i}) + b_3\,(C_{мшл.з} - C_{мшл.i}) + \\ +b_4\,(C_{шл.з} - C_{шл.i}) + b_5\,(G_{г.з} - G_{гi}) \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

где индексом *з* обозначено заданное (предпочтительное) значение контролируемого параметра, а индексом *i* – текущее значение параметра, полученное с помощью системы диагностики.

Особенностью расчета управляющих воздействий является то, что они определяются в зависимости от отклонения текущего значения параметра от его оптимального значения, а количество загружаемой шихты определяется как сумма по отдельным составляющим. Таким образом, использование КТ позволяет исследовать различные варианты управления процессом и выбрать режим в наибольшей степени отвечающий поставленным требованиям. Рассчитанные управляющие воздействия целесообразно использовать в СППР для управления технологическим процессом плавки в ПВ. Общий вид экранной формы СППР работающей в автоматизированном режиме приведен на рисунке 3.

Рисунок 3 – Режим автоматизированного управления

При работе СППР в третьем (автоматическом) режиме расчет и реализация управляющих воздействий производится автоматически. Мнемосхема СППР, работающей в третьем режиме приведена на рисунке 4.

Рисунок 4 – Режим автоматического управления

Наличие СППР с помощью которой, производится предварительный выбор величины и характера управляющих воздействий приводит к тому, что качество управления процессом значительно улучшается за счет коррекции управляющих воздействий. Так среднее содержание меди в шлаке снижается с 0,84 до 0, 78%. Таким образом, применение СППР позволяет решить поставленную задачу и стабилизировать режим работы ПВ, т.е. улучшить качество управления режимом работы ПВ.

УДК 621.777

ОПТИМИЗАЦИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ПРЕССОВАНИИ

Зиборов А.Ю., Любанова А.Ш.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Abstract – The scheme of plastic deformation of a billet in a container is considered as part of continuous extrusion by the Conform method. A mathematical model of the motion of a viscoplastic Bingham liquid is used to determine the metal velocity distribution in the plasticdeformation zone. As a result, the optimum angle between the longitudinal axes of the die and container is estimated. This angle is found to be one of the main factors affecting the nonuniformity of deformation when a metal flows into the die. The calculated results are compared to experimental data.

Введение.

При проектировании технологических режимов обработки металлов давлением оптимизация конструкции и формы инструмента с целью получения изделий высокого качества с минимальными энергозатратами на деформацию заготовки достигается путем изучения характера течения металла в деформационной зоне.

В способе непрерывного прессования Конформ при захвате ручьем вращающегося колеса прутковой заготовки происходит ее незначительное обжатие и продвижение до упора, перекрывающего поперечное сечение контейнера, образованного поверхностями ручья и сопрягающейся с ним кольцевой сегментной вставки (башмаком). Продольное перемещение заготовки прекращается и происходит ее распрессовка осаживанием до заполнения металлом контейнера по всему поперечному сечению. При этом непрерывно нарастает величина площади контакта заготовки с поверхностью движущегося ручья до момента достижения активных сил трения, величины достаточной для выдавливания пресс–изделия в отверстие матрицы. Таким образом, контейнер по длине разделяется на две зоны: первая – зона неполного контакта, на протяжении которой силы контактного трения создают вторую зону – полного контакта, обеспечивающую давление для экструдирования металла [1].

Кинематические особенности непрерывного прессования заготовки из контейнера, одна часть которого подвижна относительно другой, существенно повышают неравномерность течения металла в очаге деформации зоны полного контакта перед матрицей. Градиент скоростей течения металла по границам деформационной зоны приводит к неравномерности свойств и неудовлетворительному качеству поверхности пресс – изделия. Особенно это проявляется при использовании в качестве заготовки для непрерывного прессования гранулированных, порошковых материалов и металлической стружки.

Экспериментальные данные [2] показывают, что основным фактором, влияющим на величину неравномерности деформации при течении металла в матрицу, является ее расположение в кольцевой вставке, определяемое углом между продольными осями матрицы и контейнера.

Решение задачи.

Металл является несжимаемой вязкопластической однородной средой или бингамовской жидкостью. Главной сложностью моделирования движения такой среды является наличие у нее предельного напряжения сдвига (предела текучести). Основной вклад в математическое исследование течений вязкопластических сред внесли П.П. Мясников и В.П. Мосолов [3-5]. В своих работах они сформулировали вариационный принцип для движения жестко-вязкопластической среды общего вида и обосновали эквивалентность дифференциальной и вариационной постановок задачи (задача Мосолова-Мясникова).

Рассматриваемый процесс является установившимся и протекает в области G, ограниченной поверхностями S_1, S_3, S_4, S_5, S_6. (рисунок 1).

1 – колесо; 2 – мертвая зона; 3 – упор башмака; 4 – матрица; 5 – башмак; 6 – зона деформации; 7 – подача металла

Рисунок 1 – Зона пластической деформации

Математическая модель установившегося течения вязкопластической жидкости Бингама включает в себя стационарные уравнения движения, уравнение неразрывности, а также уравнение состояния вязкопластической среды.

Геометрически форма рабочей области или зоны деформации представляет собой сектор кольца. Поэтому удобнее решать задачу в полярных координатах: $x = r\cos(\varphi)$, $y = r\sin(\varphi)$.

Модель установившегося процесса вязко-пластической деформации в полярных координатах записывается следующим образом [6]:

уравнение неразрывности –

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} = 0 \qquad (1)$$

уравнения движения (равновесия) –

$$\begin{aligned} &\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r}\cdot(\sigma_r - \sigma_\varphi) = 0, \\ &\frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r}\tau_{r\varphi} = 0; \end{aligned} \qquad (2)$$

уравнение состояния –

$D = \overline{0}$,

при

$$\left(\sigma_r - r\sigma_\varphi\right)^2 + (r\tau_{r\varphi} + \tau_{r\varphi})^2 \le 4\tau_S^2 \tag{3}$$

и

$$P = 2\mu D + \tau_s \frac{D}{|D|},$$

при

$$\left(\sigma_r - r\sigma_\varphi\right)^2 + (r\tau_{r\varphi} + \tau_{r\varphi})^2 > 4\tau_S^2 \tag{4}$$

где μ – коэффициент вязкости;
τ_S – предел текучести,

$$|D| = \sqrt{\varepsilon_{rr}^2 + 2\varepsilon_{r\varphi}^2 + \varepsilon_{\varphi\varphi}^2}, \quad P = \begin{pmatrix} \sigma_r & \tau_{r\varphi} \\ \tau_{r\varphi} & \sigma_{\varphi\varphi} \end{pmatrix}.$$

Компоненты скорости (v_r, v_φ) и тензора напряжений P удовлетворяют следующим граничным условиям:

$$\tau_{r\varphi} = c_f\,\tau_s,\ v_r = 0 \tag{5}$$

на $S_1 : r = R_1,\ -\varphi^* \le \varphi \le 0$, здесь c_f – коэффициент трения;

$$\tau_{r\varphi} = -c_f\,\tau_s,\ v_r = 0 \tag{6}$$

на $S_3 : r = R_3,\ -\varphi^* \le \varphi \le 0$;

$$v_\varphi = \omega r,\ \tau_{r\varphi} = \sigma_\varphi = 0 \tag{7}$$

на $S_4 : \varphi = -\varphi^*,\ R_1 \le r \le R_3$, где ω – угловая скорость колеса;

$$v_\varphi = 0 \tag{8}$$

на $S_5 : \varphi = 0,\ R_1 \le r \le R_2$;

$$\begin{cases} \sigma_r n_r + \tau_{r\varphi} n_\varphi = 0 \\ \tau_{r\varphi} n_r + \sigma_\varphi n_\varphi = 0 \end{cases} \tag{9}$$

$$\left(-v_r \sin(\varphi + \alpha) + v_\varphi \cos(\varphi + \alpha)\right)\Big|_{S_6} = 0, \tag{10}$$

на $S_6 : r\sin\varphi = -\mathrm{ctg}\alpha\,(r\cos\varphi - R_2),\ \varphi_B \le \varphi \le 0,\ R_2 \le r \le R_3$;

$$\varphi_B = 2\mathrm{arctg}\frac{R_3 - \sqrt{R_3{}^2 + \mathrm{ctg}^2\alpha\,(R_3{}^2 - R_2{}^2)}}{\mathrm{ctg}\alpha\,(R_2 + R_3)}.$$

Здесь $\bar{n} = (n_r, n_\varphi)$ – вектор нормали к поверхности S_6, φ_B – координата φ точки пересечения S_6 с S_3.

Вариационная постановка задачи. Задача (1)-(10) решается в вариационной постановке, которая заключается в следующем. Требуется найти вектор скоростей $\bar{v}$, который доставляет минимум функционалу удельной мощности сил пластической деформации

$$I(\bar{v}) = a(\bar{v}, \bar{v}) + J_1(\bar{v}) + J_2(\bar{v}) \tag{11}$$

на множестве W дифференцируемых в области G векторных функций, удовлетворяющих ограничениям:

$$\mathrm{div}\bar{v} \equiv \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} = 0, \tag{12}$$

$$\begin{aligned} &v_\varphi\big|_{S_4} = v_k, \quad v_\varphi\big|_{S_5} = 0, \\ &v_r\big|_{S_1} = v_r\big|_{S_3} = 0, \\ &(v_\varphi \cos(\varphi+\alpha) - v_r \sin(\varphi+\alpha))\big|_{S_6} = 0, \end{aligned} \tag{13}$$

где

$$\begin{aligned} a(\bar{v}, \bar{v}) &= 2\mu \int_G D : D dG = \\ &= 2\mu \int_{-\varphi^*}^{\varphi_B} d\varphi \int_{R_1}^{R_3} \left\{ \left(\frac{\partial v_r}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} v_r\right)^2 + \right. \\ &\left. + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial v_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial r}\right)^2 \right\} r dr + \\ &+ 2\mu \int_{\varphi_B}^{0} d\varphi \int_{R_1}^{rr(\varphi)} \left\{ \left(\frac{\partial v_r}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} v_r\right)^2 + \right. \\ &\left. + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial v_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial r}\right)^2 \right\} r dr, \end{aligned} \tag{14}$$

$$rr(\varphi) = R_2 \frac{\cos\alpha}{\cos(\varphi+\alpha)},$$

$$J_1(\bar{v}) = \tau_S \int_G |D| dG =$$

$$= \tau_S \int_{-\varphi^*}^{\varphi_B} d\varphi \int_{R_1}^{R_3} \left\{ \left(\frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} v_r \right)^2 + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial r} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} rdr +$$

$$+ \tau_S \int_{\varphi_B}^{0} d\varphi \int_{R_1}^{rr(\varphi)} \left\{ \left(\frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} v_r \right)^2 + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial r} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} rdr,$$

$$\left. + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial r} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} rdr, \qquad (15)$$

$$J_2(\bar{v}) = \int_{-\varphi^*}^{0} c_f \cdot v_\varphi{}^2 (R_1, \varphi) R_1{}^2 d\varphi +$$

$$+ \int_{-\varphi^*}^{\varphi_B} c_f \cdot v_\varphi{}^2 (R_3, \varphi) R_3{}^2 d\varphi. \qquad (16)$$

Численная реализация.

В основе численного метода решения вариационной задачи лежит метод конечных элементов. Для построения сеточного аналога задачи необходимо использовать неравномерную сетку, состоящую из четырёх частей. Такой выбор сетки обусловлен геометрическими особенностями области *G*.

Производные входящие в функционал (1) и уравнение неразрывности (2) аппроксимируются правыми разностными производными. Квадратурные формулы для приближенного вычисления двойных интегралов (3), (4) по области *G* и интегралов (5) по границам строятся с помощью метода трапеций. В основе алгоритма оптимизации функционала лежит метод релаксации [7].

Одним из основных факторов, влияющих на степень неравномерности деформации при течении металла в матрицу, является ее расположение в кольцевой вставке, определяемое углом α между продольными осями мат-

рицы и контейнера. От параметра α зависит распределение скорости течения металла по сечению S_6 (на входе в матрицу). но характеризует степень неравномерности деформации, которую можно оценить величиной

$$g(\alpha) = \max_{\substack{(\varphi',r')\in S_6,\\ (\varphi'',r'')\in S_6}} \left|\bar{v}(\varphi',r',\alpha) - \bar{v}(\varphi'',r'',\alpha)\right|.$$

Оптимальными являются значения угла α, обеспечивающие минимум $g(\alpha)$.

Анализ результатов численного эксперимента.

Численный эксперимент проводился с помощью созданного для этого программного приложения. Расчёт компонент скорости движения в узлах сетки, мощности сил деформации и угла α выполнен при технологических данных для алюминия. При пластическом течении Результаты расчетов при $N = 10$ представлены в виде графиков на рисунке 2.

Рисунок 2 – Результаты численного эксперимента

Экспериментальное исследование характера течения металла по мере изменения величины угла между продольными осями канала матрицы и контейнера путем использования разъемных алюминиевых прутков длиной, при которой обеспечивается изотермический процесс непрерывного прессования, весьма затруднительно. Эксперименты удобнее проводить на коротких свинцовых образцах без предварительного нагрева, так как горячая деформация свинца проходит уже при комнатной температуре.

Экспериментальное исследование характера течения металла по мере изменения величины угла между продольными осями канала матрицы и контейнера путем использования разъемных алюминиевых прутков длиной, при которой обеспечивается изотермический процесс непрерывного прессования, весьма затруднительно. Эксперименты удобнее проводить на коротких свинцовых образцах без предварительного нагрева, так как горячая деформация свинца проходит уже при комнатной температуре.

Характер искривления поперечных линий координатной сетки (рисунок 3) показывает, что неравномерность скоростей течения металла в матрицу по перечному сечению пресс-изделия во втором опыте по сравнению с первым значительно снизилась. Влияние угла α на характер течения показывает тенденцию выравнивания скоростей при уменьшении угла, что не противоречит графику (рисунок 2), простроенному по расчетным значениям.

а) α = 90°, б) α = 45°

Рисунок 3 – Линии деформации образцов при различных углах установки матрицы

Вывод.

Из анализа полученных в работе расчетных и экспериментальных данных следует, что равномерность течения металла в деформационной зоне при непрерывном прессовании способом Конформ существенно зависит от угла между продольными осями кольцевого контейнера матрицы. При значениях величины угла в интервале 20-30° течения металла наиболее равномерно, что положительно влияет на качество пресс - изделия.

Список использованных источников

1. Сергеев В.М., Горохов Ю.В., Соболев В.К. и др. Непрерывное литье и прессование цветных металлов. М.: Металлургия, 1990. (Проблемы цветной металлургии) – 85 с.
2. А.с. 1491600 СССР, МКИ В 21 С 23/08. Устройство для непрерывного прессования цветных металлов и сплавов [Текст] / В.М. Сергеев, В.А. Антич, Ф.С. Гилевич, Ю.В. Горохов, Н.Н. Довженко и А.М. Смирнов (СССР). – № 4263556 / 25-27; заявл. 17.06.87; опубл. 07.07.89, Бюл. №25 – 2с.
3. Мосолов П.П. О некоторых вопросах теории несжимаемых вязкопластичных сред // Прикладная математика и механика. 1978. Т. 42, вып. 4. С. 737-746.
4. Мосолов П.П., Мясников В.П. Вариационные методы в теории течений вязкопластической среды // Прикладная математика и механика. 1965. Т. 29, вып. 3. С. 468-492.

5. Мосолов П.П., Мясников В.П. Механика жесткопластических сред. М.: Наука, 1981. 208 с.
6. Любанова А.Ш., Непомнящий Ф.Ю. Задача вязкопластической деформации металла // «Вычислительные технологии», 2008. Т. 13 (совместно с Вестником КазНУ им. Аль-Фараби, серия «Математика, механика, информатика», т.58, №3) С. 327-332.
7. Бахвалов Н.С., Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. Численные методы. Бином, 2003. 630 с.

УДК 628.16.087

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

Раева О.В., Шестаков И.Я., Фейлер О.В.

Сибирский федеральный университет,
Институт цветных металлов и материаловедения, г. Красноярск

Широкому внедрению электрохимических методов обработки воды и водных растворов препятствуют энергозатраты, громоздкость оборудования и необходимость расходных материалов. В статье представлены результаты испытаний электрохимического способа очистки сточных вод промышленных предприятий.

Металлургические предприятия используют природные воды, причем 90% из них возвращается в водоемы с различной степенью загрязнения. Вода используется для приготовления технологических растворов, применяемых при травлении деталей и других технологических процессах. В частности промывные сточные воды гальванических цехов содержат до 0,2 мг/л примесей таких металлов как хром, цинк, медь и т.д., при ПДК не выше 0,07 мг/л. В отработанных электролитах их концентрации возрастают в десятки, а иногда и сотни раз. Возникает проблема в очистке воды и водных растворов от ионов тяжелых металлов.

Решение проблемы максимального выделения ионов металлов из растворов имеет не только экономическое, но и экологическое значение. Существующие установки очистки промышленных сточных вод не обеспечивают удаления примесей до предельно допустимых концентраций [1, 2, 3].

В Сибирском Государственном Аэрокосмическом Университете разработан способ очистки воды и водных растворов от анионов и катионов электрохимическим методом с применением нерастворимых электродов и переменного тока [4, 5]. Для реализации данного способа не требуются расходные материалы. Удельные энергозатраты предлагаемого способа в 1,5-3 раза меньше, чем у известных электрохимических методов.

Для очистки была разработана и изготовлена лабораторная установка, представляющая собой электролизер, выполненный из чередующихся пластин [6]. Материалы электродов: нержавеющая сталь 12Х18Н10Т и титановый сплав ОТ 4-0. Расстояние между пластинами 10-12 мм. Температура воды 20-25 ^{0}С. Напряжение – переменное промышленной частоты.

Этим способом очищались сточные воды ФГУП ЦКБ «Геофизика» и Уфимского моторостроительного производственного объединения. Результаты очистки представлены в таблице 1 и опубликованы в работе [7].

Таблица 1 – Лабораторные результаты очистки сточных вод

Элемент	Начальная концентрация c_o, мг/дм3	Конечная концентрация $c_к$, мг/дм3	Уменьшение в n ($c_o/c_к$) раз
ФГУП ЦКБ «Геофизика», г. Красноярск			
Cu	1,15	0,283	4,1
Fe	9	1,15	7,8
Cr +3	2,345	0,507	4,6
Cr +6	3,88	1,217	3,1
Zn	1,04	0,375	2,3
Al	0,286	0,04	7
Mn	0,255	0,047	5,4
УФМПО, г. Уфа			
Fe	0,62	0,0456	13,5
Cu	0,13	0,0021	61,9
Mn	0,045	0,026	1,73
Ni	0,39	0,29	1,34

Технология обработки состояла из воздействия на неподвижную воду нестационарного электрического поля, затем отстаивание в течение 4-6 часов. После этого на дне сосуда образовывался осадок.

Список использованных источников

1. Ключков Б.Я. Экологические проблемы гальванотехники. - Машиностроитель, №6, 1997. - с. 33-35.
2. Аксенов В.И., Ладыгичев М.Г., Ничкова И.И., Никулин В.А., Кляйн С.Э., Аксенов Е.В. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справочное издание: В 2-х книгах. Книга 1/ Под ред. В.И. Аксенова. – М.: Теплотехник, 2005. – 640 с.
3. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.
4. Стрюк А.И., Шестаков И.Я., Фадеев А.А., Фейлер О.В., Сурсяков А.А., Кушнир А.А. Способ очистки воды и водных растворов от анионов и ка-

тионов. Патент РФ №2213701, С 02 F 1/46//С 02 F 103:16. Опубл. Б.И. №28, 10.10.2003.
5. Шестаков И.Я., Вдовенко В.Г. Способ электрохимической очистки воды и водных растворов от ионов тяжелых металлов. А.С. №1724591, С 02 F 1/46. Опубл. Б.И. №13 07.04.1992.
6. Стрюк А.И., Шестаков И.Я., Фадеев А.А., Фейлер О.В., Сурсяков А.А., Кушнир А.А. Установка очистки воды и водных растворов от анионов и катионов. С. №18532, С 02 F 1/46. Опубл. Б.И. №18, 27.06.2001.
7. Шестаков И.Я., Герасимова Л.А. Исследование электрохимических способов очистки воды и водных растворов от ионов тяжелых металлов: Сб. САА / под ред. Стацура/. - САА. - 1996. - с. 32-35.

УДК 519.876.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ СТРОГИХ БИПОДОБИЯ И БИМОДЕЛИРОВАНИЯ

Сорокин А.С.

Кузбасский государственный технический университет
(филиал в г. Новокузнецке)

§1. Введение. В работе рассмотрено бимоделирование, которое основано на отмеченном мультипереходе системы РЕРА [1], и исследованы некоторые его свойства. Определение строгого бимоделирования основано на понимании того, что строгие бигомотетичные компоненты в состоянии выполнить те же самые действия, приводящие к производным множествам. Эти производные множества в свою очередь сами строго бигомотетичны. В §2 показано, что это свойство может быть выражено с помощью определения отношения строгого бимоделирования. Тогда строгое биподобие наиболее полно удовлетворяет условиям отношения строгого бимоделирования. Остальная часть работы занята изучением свойств отношения строгого биподобия $\propto$.

В § 3 это отношение изучено с точки зрения алгебры процесса. Показано, что строгое биподобие есть отношение соответствия для системы РЕРА [2-7]. В §4 обсуждены применения строгого биподобия для смоделированных компонент системы.

§2. Определение строгого биподобия. Бимоделирование предназначено, чтобы зафиксировать одинаковое наблюдаемое поведение. Нужно разъяснить, какие аспекты поведения могут быть зафиксированы при наблюдении и обстановка, при которой проводится наблюдение. В терминах РЕРА имеется несколько возможностей того, как проводить наблюдения. Например, может ли наблюдатель знать относительную частоту, с которой происходят альтернативные действия, или возможные производные множе-

ства, встречающиеся в условиях движения данной компоненты? Фиксируется ли наблюдателем время пребывания каждой компоненты?

Альтернативный способ представлять отношение строгого бимоделирования в терминах отмеченной системой мультиперехода дает рабочая семантика языка. Две компоненты строго бигомотетичны, если они способны выполнять одинаковые действия, и получающиеся производные множества будут также строго бигомотетичны.

Тогда, когда в PEPA отмеченная система переходов производит мультидиаграмму, то кратность каждого действия также должна быть рассмотрена.

Определение строгого бимоделирования, которое представлено в этой работе, является простым расширением строгого бимоделирования CCS в PEPA [2, 6-8]. В системе CCS две компоненты строго бигомотетичны, если любому α действию одной компоненты соответствует α действие другой; кроме того, каждая α - производная одной компоненты строго бигомотетичена к некоторой α - производной другой. Таким образом, для системы PEPA воздействия компоненты заменим на её действия и предъявим то же самое требование к производным множествам. Отметим, что это не налагает условий на кратности действий в компонентах. Например, это привело бы к эквивалентности, в которой $P+P$ считают эквивалентно P, хотя сначала компонента $P+P$, казалось бы, действовала дважды с такой скоростью как P.

Самый простой способ избежать этой ситуации состоит в том, чтобы добавить дополнительное условие к строгому бимоделированию, заключающееся в очевидной оценке всех типов действий, и то же самое для этих двух компонент. Таким образом, в соответствии с CCS, а также в соответствии с марковскими процессами, предполагаем участия наблюдателя, который сравнивает их текущее поведение и не учитывает информацию о предыдущем поведении компоненты.

В частности, нет необходимости рассматривать относительную частоту или вероятность для переходов или для производных множеств.

Определение 1. *Бинарное отношение $R \subseteq C \times C$ с компонентами α является строгим бимоделированием, если существует такое $(P, Q) \in R$, что для любого $\alpha \in A$ выполнены следующие условия:*

1. $r_\alpha(P) = r_\alpha(Q)$; *и для всех* $\alpha \in Act$;

2. *для любого* $P \xrightarrow{a} P'$ *существует такое* Q', *что* $Q \xrightarrow{a} Q'$ *и* $(P', Q') \in R$;

3. *для любого* $Q \xrightarrow{a} Q'$ *существует такое* P', *что* $P \xrightarrow{a} P'$ *и* $(P', Q') \in R$.

Так как отношение идентичности удовлетворяет всем условиям определения 1, то любая компонента является элементом строгого бимоделирования. Из условий симметричности следует что, если R есть строгое бимоделирование, то и R^{-1} – также есть строгое бимоделирование. Условия являют-

ся также транзитивными и сохраняют свойства при объединении. Таким образом, имеет место следующая теорема:

Теорема 1. *Пусть каждый* R_i (i = 1,2,…) *есть строгое бимоделирование. Тогда следующие отношения:* Id_C, R_1R_2, R_i^{-1}, $\bigcup_{i\in I} R_i$ *также будут строгими бимоделированиями.*

Доказательство. Доказательство следует непосредственно из определения 1.

Теперь определим отношение строгого биподобия $\propto$.

Определение 2. *Если P и Q - строго бигомотетичны, то* $P \propto Q$ *при условии, что* $(P, Q) \in R$, *а для каждого строгого бимоделирования R имеет место:*

$$\propto \; = \bigcup \{R : R - \text{строгое бимоделирование}\}$$

Из этого определения и теоремы 1 следует, что $\propto$ является также строгим бимоделированием и что оно является отношением эквивалентности.

Для того чтобы показать, что $P \propto Q$ необходимо определить отношение строгого бимоделирования R такого, что $(P, Q) \in R$ Так как это усложняет рассмотрение всех производных P и Q и их возможных взаимодействий, то задача может оказаться нетривиальной. Определим более слабое отношение, чем отношение *строгого бимоделирования* $\propto$. Оно использует классы эквивалентности, индуцированные на производные множества каждой компоненты в отношении $\propto$. Тогда две компоненты удовлетворяют отношению R, если они соответствуют действиям и очевидным оценкам типов действий. Каждая α – производная принадлежит классу эквивалентности, в котором найдётся элемент, принадлежащий R с некоторым элементом класса эквивалентности. Этот класс содержит α –производную в производном множестве другой компоненты.

Определение 3. *Отношение R является ограниченно строгим бимоделированием* $\propto$, *если существует такое* $P\,R\,Q$, *что для любого* $\alpha \in A$ *выполнены следующие условия:*

1. $r_\alpha(P) = r_\alpha(Q)$; *и для всех* $\alpha \in Act$;
2. *для любого* $P \xrightarrow{a} P'$ *существует такое* Q', *что* $Q \xrightarrow{a} Q'$ *и* $P' \propto R \propto Q'$;
3. *для любого* $Q \xrightarrow{a} Q'$ *существует такое* P', *что* $P \xrightarrow{a} P'$ *и* $P' \propto R \propto Q'$.

Для того чтобы показать, что между компонентами выполняется строгое биподобие, достаточно показать, что между ними выполняется ограниченно строгое бимоделирование $\propto$.

Имеет место следующая Лемма.

Лемма 1. *Если R - ограниченно строгое бимоделирование $\propto$, то отношение $\propto R \propto$ является строгим бимоделированием.*

Теорема 2. *Если R – ограниченно строгое бимоделирование $\propto$, то $R \subseteq \propto$.*

Доказательство. По лемме 1 имеем, что $\propto R \propto$ есть строгое бимоделирование, тогда получаем, что $\propto R \propto \subseteq \propto$. Но так как $Id_C \subseteq \propto$, то $R \subseteq \propto R \propto$. Следовательно, имеет место $R \subseteq \propto$.

Этот результат будет использован в дальнейшем, когда докажем конгруэнтность отношения $\propto$.

§3. Свойства отношения строгого биподобия. В этом разделе исследуем свойства отношения строгого биподобия в процессе алгебраического контекста. Докажем, что конгруэнтность отношения строгого биподобия сохраняется для комбинаторов языка и для рекурсивных определений. Также покажем, что любые изоморфные компоненты строго бигомотетичны.

3.1 Конгруентность строгого биподобия. Чтобы показать конгруентность строгого биподобия для системы PEPA, покажем, что отношение сохранено для каждого из комбинаторов языка. Например, это означает, что если P_1 строго бигомотетично относительно P_2, то можно заменить P_1 в компоненте $P_1 \underset{L}{\rhd\lhd} Q$ на P_2.

Теорема 3. (Сохранность комбинаторов). *Пусть $P_1 \propto P_2$, тогда 1. $aP_1 \propto aP_2$; 2. $P_1 + Q \propto P_2 + Q$; 3. $P_1 \underset{L}{\rhd\lhd} Q \propto P_2 \underset{L}{\rhd\lhd} Q$; 4. $P_1/L \propto P_2/L$.*

Ранее было показано, что это отношение есть строгое бимоделирование.

Далее покажем, что множества рекурсивных определений также сохраняют отношение строгого биподобия. Определение строгого биподобия распространено на компоненты выражений следующим образом:

Определение 4. *Пусть E и F выражения, содержащие переменные $\tilde{X}$. Если для любого множества индексов компонент $\tilde{P}$ имеет место $E\{\tilde{P} / \tilde{X}\} \propto F\{\tilde{P} / \tilde{X}\}$, , то $E \propto F$.*

Отсюда следует конгруэнтность $\propto$.

Теорема 4. (Сохранение при рекурсивном определении). *Пусть $\tilde{E}$ и $\tilde{F}$ содержат переменные $\tilde{X}$. Пусть далее $\tilde{A} \overset{def}{=} \tilde{E}\{\tilde{A} / \tilde{X}\}$, $\tilde{B} \overset{def}{=} \tilde{F}\{\tilde{B} / \tilde{X}\}$ и $\tilde{E} \propto \tilde{F}$. Тогда $\tilde{A} \propto \tilde{B}$.*

Таким образом, показано, что каждому действию $G\{A/X\}$ соответствует $G\{B/X\}$, и в силу симметричности аргумента отметим, что каждому действию $G\{B/X\}$ так же соответствует $G\{A/X\}$. Из этого следует, что отношение

$$R = \{(G\{A / X\}, G\{B / X\}) \mid G \text{ содержит переменную } X\}$$

ограниченно строгое бимоделирование $\propto$.

Следовательно, если выберем $G \equiv X$, из этого следует необходимость $A \propto B$.

3.2 Изоморфизм и строгое биподобие

В [1,2] было представлено понятие изоморфизма компонент. Две компоненты изоморфны, если они генерируют дифференцированные диаграммы с одинаковой структурой. Такие компоненты отличаются только обозначением производных.

В следующей теореме устанавливаем изоморфизм компонент - более строгое отношение между компонентами, чем строгое биподобие, т.е., $= \subset \propto$.

Лемма 2. *Если F - изоморфизм компонент, то для любого* P, $P \propto F(P)$.

Теорема 5. *Если P и Q – изоморфизмы компонент, тогда* $P \propto Q$.

Доказательство. Это непосредственно следует из леммы 2.

Из этого можем вывести, что в эквациональных законах, установленных для изоморфных компонент в [1,2] можно вновь заменить «=» на «∝».

§ 4. Строгое биподобие и компоненты системы. Отношение $P \propto Q$ описывает компоненты системы, смоделированной для компонент PEPA P и Q. Пусть Sys_P и Sys_Q обозначают систему компонент, смоделированных для P и Q, а записывают это следующим образом $P \propto Q$. Это следует из определения строгого бимоделирования, так как множество действий, мультимножество действий и оценки этих двух компонент равны

$$A(P) = \mathrm{A(Q)};\ Act(P) = Act(Q);\ q(P) = q(Q). \qquad (1)$$

В терминах компонент систем Sys_P и Sys_Q это означает, что при наблюдении оказалось, что они выполняют те же самые действия и с теми же оценками и, что их средняя задержка перед выполнением некоторого действия будет той же самой. Кроме того, можем вывести из уравнений (1) , что вероятность (или относительная частота) у выполненного действия будет данного типа. Она такая же, как и у этих двух компонент Sys_P и Sys_Q.

Строгое отношение бимоделирования между P и Q гарантирует, что то же самое отношение должно существовать между соответствием производных, т. е. если $P \xrightarrow{a} P'$, то найдется такое Q', что $Q \xrightarrow{a} Q'$ и $P' \propto Q'$. Это означает, что любая последовательность действий, которая может быть выполнена для P, также будет выполнена и для Q. Таким образом, если считаем компоненты принадлежащими системам Sys_P и Sys_Q, тогда возможные последовательности действий, которые они могут выполнить, являются теми же самыми.

В строго бигомотетичных компонентах все действия происходят с той же самой кратностью, а рассогласование оценок перехода может произойти только тогда, когда появляется более чем одна производная, получающаяся от данного действия. По крайней мере, для одной из таких производных рассогласование оценок перехода достигается при более чем одном случае действий. В двух строго бигомотетичных компонентах эта способ-

ность к выполнению действий приводит к различным производным, отличающимся оценками переходов.

Таким образом, очевидно, что это определение строгого биподобия не гарантирует того, что компоненты при экспериментировании неразличимы. С другой стороны, если можно гарантировать, что этого не происходит, то отношение гарантирует то же самое поведение компонент. Метод упрощения модели изложен в общих чертах в [1,9,10].

Список использованных источников

1. Aldinucci M, Danelutto M. Algorithmic Skeletons Meeting Grids. // Parallel Computing, 32(7-8). 2006. p. 449–462.
2. Hillston J. A Compositional Approach to Performance Modelling. Cambridge Univ. Press, 1996.
3. Сорокин А.С. Применение полумарковских процессов к определению характеристик надежности технологических схем. // Вестник КузГТУ. 2005. № 1. С. 3 -9.
4. Сорокин А.С. Структурное моделирование надежности технологических систем с использованием скелетонов// Вестник КузГТУ. 2008. № 4(68), С. 31-45.
5. Сорокин А.С. Математическое моделирование оценки надежности технологических систем// Вестник КузГТУ. 2008. № 5(69). С. 28-37.
6. Сорокин А.С. Применение методов теории вероятностей к исследованию некоторых процессов производства.//Труды 4-ой междунар. Конф. Кибернетика и технологии XXI века. Воронеж, 2003. С. 312-323.
7. Сорокин А.С. Марковские процессы в теории надежности технологических систем гидродобычи угля // Вестник КузГТУ. 2008. № 1. С. 61-69.
8. Коэн Дж., Боксма О. Граничные задачи в теории массового обслуживания. М.: МИР, 1987.
9. Сорокин А.С. Алгоритм решения систем уравнений Колмогорова (Оценка качества системы).//Вторая Всероссийская научная конф. Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB. М., 2004. С. 389 – 397.
10. Черчлин У., Акоф Л. Введение в исследование операций. М.: Науковы Думка, 1968.

УДК 519.876.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ СТРОГИМ БИПОДОБИЕМ И МАРКОВСКИМ ПРОЦЕССОМ

Сорокин А.С.

Кузбасский государственный технический университет
(филиал в г. Новокузнецке)

§ 1. Введение. Изучены отношения между строгим биподобием и основным марковским процессом [1-4]. Предложено, как строгое биподобие может быть использовано для метода упрощения модели. Отношение используется, для того чтобы найти компоненты, которые выполняют те же самые действия. Далее проверяют, для того чтобы гарантировать поведение компоненты, действительно ли оно то же самое. Если для одной компоненты найдется меньшее производное множество, то она может заменить другую компоненту в модели PEPA [5-8] и привести к пространству состояний основного марковского процесса. Демонстрируем это использование строгого биподобия для упрощения пространства состояний на одной из моделей MSMQ [5].

§ 2. Строгое биподобие и марковский процесс. В этом разделе исследуем в перспективе отношение строгого биподобия и основного марковского процесса, как эквивалентность от модели к модели, так и как эквивалентность от состояния к состоянию.

В частности, отметим, что отношение $P \propto Q$ отражает марковские процессы, полученные для P и Q. Рассмотрено индуцированное разделение для $\propto$ на пространстве состояний модели, но установлено, что вообще говоря, нет оснований для точного агрегирования.

Как показано в [3-4], два марковских процесса эквивалентны, если они имеют одно и то же число состояний и с теми же оценками перехода между состояниями. В отличие от этого изоморфные компоненты и строго бигомотетичные компоненты не всегда будут эквивалентны марковскому процессу. Иногда полезно рассматривать более слабую форму эквивалентности между марковскими процессами, а именно, эквивалентность укрупнения.

Определение 1. *Два марковских процесса,* $\{X_i\}$ *и* $\{Y_j\}$*, являются укрупненным эквивалентом, если найдутся укрупненное разделение* $\{X_i\}$*,* $\{X_{[i]}\}$*, и укрупненное разделение* $\{Y_j\}$*,* $\{Y_{[j]}\}$ *такие, что существует инъективная функция f, которая удовлетворяет условию*

$$q\left(X_{[k]}, X_{[l]}\right) = q\left(Y_{f([k])}, Y_{f([l])}\right).$$

Таким образом, два марковских процесса имеют эквивалентное укрупнение, если у них существует укрупненное разделение с тем же числом элементов, а также найдется взаимно-однозначное соответствие между раз-

делениями, которое соответствует присоединенным оценкам перехода между разделениями. Отметим, что для любого процесса найдется тривиальное разделение укрупнения, которое формирует собственное разделение для каждого состояния. Отметим, что не рассматривается вырожденное разделение, в котором присутствуют все состояния, формирующие единственное разделение.

Отметим, что из существования строгого биподобия между компонентами не следует, что можно установить какое-либо отношение между соответствующими марковскими процессами.

Строгое биподобие есть отношение эквивалентности на множестве всех компонент и также индуцирует отношение эквивалентности по производному множеству любой компоненты. Рассмотрим, какое отношение имеет строгое биподобие между производными отдельной компоненты к структуре марковского процесса, генерированного для компонент. Исследуем строгое биподобие как эквивалентность от состояния к состоянию, считаем, что разделение индуцировано для $\propto$ по производному множеству компонент. Если разделение укрупненное, то агрегированный процесс будет марковским процессом.

Если для каких-нибудь двух состояний из разбиения существует укрупненное разделение, то их классифицируют по любому другому классу разделения агрегированной оценкой перехода. Отметим, что строгое биподобие между компонентами не гарантирует еще, что оценки перехода соответствуют производным множествам. Строго бигомотетичные компоненты из производного множества будут элементами из того же класса разделения индуцированы с помощью $\propto$.

Пусть имеем неукрупненное разделение

$$q(C_1, C_{[2]}) = q(C_1, C_3) + q(C_1, C_4) = 2r_b ,$$
$$q(C_2, C_{[2]}) = q(C_2, C_3) + q(C_2, C_4) = r_b .$$

Из этого следует, что для формирования укрупненого разделения на пространстве состояний компонент $\propto$ не может быть использован. Разделение, сформированное с помощью $\propto$ на пространстве состояний модели, может использовано для агрегирования. Для того чтобы вычислить условную вероятность любого из состояний для каждого разделения прежде должен быть использован некоторый метод формирования агрегированного процесса.

Рассмотрим, существует ли эквивалентность между основными марковскими процессами и строгом биподобии, что соответствует передаче компонент в систему PEPA.

Компонента PEPA содержит информацию о типах воздействия на действия так же как оценку самих действий. Таким образом, всегда будет потеря информации при переходе от компоненты PEPA к основному мар-

ковскому процессу. Построим не строго бигомотетичные компоненты, которые генерируют тот же самый марковский процесс.

Например, рассмотрим такие T_1 и T_2, что

$$T_1 \overset{def}{=} (task_1, r).T_1,\ T_2 \overset{def}{=} (task_2, r).T_2\ .$$

T_1 и T_2 генерируют марковский процесс, хотя они не строго бигомотетичны, они не даже изоморфны. Так же можно построить процессы, которые воспроизводят укрупнение эквивалентных марковских процессов, но, тем не менее, они не строго бигомотетичны.

Расширение марковского процесса, начиная с более чем с одного действия, не решает задачу представления в компоненте системы PEPA. Отмеченный для всех типов действий переход может быть представлен как единый переход в отмеченном марковском процессе. Отметим, что определение эквивалентного расширения марковского процесса и определение укрупненного эквивалента расширенного марковского процесса есть результат применения не строго бигомотетичных компонент. Существуют такие X и Y, которые генерируют эквивалентные расширенные марковские процессы, но между ними нет никакого строгого бимоделирования [9-13].

Следовательно, эквивалентность между марковскими процессами, даже если они расширены для всех типов действий, не позволяет сделать вывод о строгом бимоделировании между соответствующими компонентами. Строгое биподобие, вообще говоря, не предоставляет достаточно полную информацию о вероятностном поведении компонент основных марковских процессов для получения любых отношений между ними.

Список использованных источников

1. Сорокин А.С. Марковские процессы в теории надежности технологических систем гидродобычи угля // Вестник КузГТУ. 2008. № 1. С. 61-69.
2. Коэн Дж., Боксма О. Граничные задачи в теории массового обслуживания. М.: МИР, 1987.
3. Королюк В.С., Томусяк А.А. Описание функционирования резервированных систем посредством полумарковских процессов. //Кибернетика, вып.5, 1965.
4. Баруча-Рид А.Т. Элементы теории марковских процессов и их применение. Наука, М., 1969. 511С.
5. Hillston J. A Compositional Approach to Performance Modelling. Cambridge Univ. Press, 1996.
6. Сорокин А.С. Применение полумарковских процессов к определению характеристик надежности технологических схем. // Вестник КузГТУ, 2005. № 1. С. 3 -9.

7. Сорокин А.С. Структурное моделирование надежности технологических систем с использованием скелетонов// Вестник КузГТУ, 2008. № 4(68). С. 31-45.
8. Сорокин А.С. Математическое моделирование оценки надежности технологических систем// Вестник КузГТУ. 2008. № 5(69). С. 28-37.
9. Сорокин А.С. Применение методов теории вероятностей к исследованию некоторых процессов производства.//Труды 4-ой междунар. Конф. Кибернетика и технологии XXI века. Воронеж, 2003. С. 312-323.
10. Сорокин А.С. Алгоритм решения систем уравнений Колмогорова (Оценка качества системы).//Вторая Всероссийская научная конф. Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB. М., 2004. С. 389 – 397.
11. Черчлин У., Акоф Л. Введение в исследование операций. М.: Наукова Думка, 1968.
12. Adian S.I. Defining Relations and Algorithmic Problems for Groups and Semigroups//Proc.Steklov Inst. Math.1996.V.85.
13. Адян С.И. Оценка сложности вывода в одной системе подстановок//ДРАН , 2009. Т. 428, №3, С.295-299.

УДК 621.74:666.85

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ

Черепанова В.К., Черепанов А.Н.

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск

В отличие от металлических расплавов, затвердевание которых практически при любых условиях охлаждения сопровождается образованием кристаллической структуры, кристаллизация силикатных жидкостей имеет ряд специфических особенностей. Известно, что характерным свойством таких расплавов является их склонность к высоким переохлаждениям и затвердеванию в стеклообразном состоянии. Это связано с быстрым нарастанием вязкости расплава при его охлаждении и снижением теплового движения частиц, в результате чего область метастабильного состояния расширяется до значительных пределов и жидкость непрерывно переходит в стекло. При математическом моделировании процесса стеклования очень важным является выбор минерального состава модельной системы, для которой должна быть описана диаграмма состояния и заданы теплофизические и термохимические параметры. В данной работе предложена математическая модель образования стеклокристаллической структуры на примере объемного затвердевания бинарной системы диопсид-анортит (Di + An).

Рассмотрим затвердевание некоторого объема бинарного расплава в интервале температур ликвидус – солидус с образованием двухфазной зоны, состоящей из кристаллов твердой фазы и межкристаллитной жидкости. Примем, что пространственным изменением температуры T в рассматриваемом объеме можно пренебречь и считать ее зависящей лишь от времени t в виде линейной функции

$$T = T_{l0} - v_T t\,, \tag{1}$$

где T_{l0} – температура ликвидуса расплава исходного состава;
v_T – скорость охлаждения.

В физическом эксперименте такие условия можно реализовать при исследовании кристаллизации небольшого объема расплава, если его внутреннее термическое сопротивление (L/λ) много меньше внешнего ($1/\alpha$), осуществляя при этом управляемый теплосъем для сохранения постоянства скорости охлаждения. Здесь L – характерный размер, λ – теплопроводность среды, α – коэффициент теплообмена.

Для диаграммы состояния системы примем линейную аппроксимацию, согласно которой

$$T_l = T_A - \beta_0 C\,, \tag{2}$$

где T_l – текущая температура ликвидуса;
T_A – температура плавления основного компонента расплава;
β_0 – модуль коэффициента наклона линии ликвидуса;
C – массовая концентрация растворенного компонента (состав расплава в процентах по массе).

Предполагая для простоты вычислений, что межкристаллитная жидкость однородна по составу, воспользуемся уравнением Шейля (правилом «неравновесного рычага»), которое связывает состав жидкости C с сечением твердой фазы f_s соотношением

$$C = C_0 \left(1 - f_s\right)^{k-1}, \tag{3}$$

где C_0 – массовая концентрация растворенного компонента в расплаве исходного состава;
k – коэффициент распределения.

Поскольку концентрация растворенного вещества на поверхности кристаллов также равна C, то с учетом формул (1) – (3) и соотношения $T_{l0} = T_A - \beta_0 C_0$ переохлаждение на фронте кристаллизации имеет вид

$$\Delta T = T_l - T = \beta_0 C_0 \left[1 - \left(1 - f_s\right)^{k-1}\right] + v_T t\,. \tag{4}$$

Для определенности будем считать, что кристаллиты имеют пластинчатую форму, а закон их роста в поперечном направлении описывается степенной зависимостью от переохлаждения

$$\dot{Y}(t) = (K/\eta)\Delta T^n, \tag{5}$$

где Y – толщина кристалла;
η – вязкость расплава;
K – кинетическая константа;
$n = 1$ в случае нормального; $n = 2$ – дислокационного механизмов роста.

Расстояние между плоскостями симметрии соседних кристаллов определяется лишь скоростью охлаждения и имеет степенную зависимость:

$$d = bv_T^{-s}, \tag{6}$$

где b, s – эмпирические константы.

Для величины f_s, характеризующей сечение (долю) твердой фазы в двухфазной зоне, имеем

$$f_s = Y/d = Yv_T^S/b. \tag{7}$$

Учитывая, что в рассматриваемом случае v_T = const из соотношений (5) – (7) получим

$$\dot{f}_s = \left(Kv_T^S/b\eta\right)\Delta T^n. \tag{8}$$

В соответствии с [1] примем для функции η следующее выражение

$$\eta = \eta_1(T)\exp\frac{a_1\Delta T^\gamma - a_2(C'-C'_0)}{RT}, \tag{9}$$

где η_1 – вязкость исходного расплава состава C_0;
R – универсальная газовая постоянная;
γ, a_1, a_2 – полуэмпирические константы, характеризующие изменение вязкости расплава при переохлаждении его ниже температуры ликвидуса и изменении состава расплава в процессе вытеснения растворенного вещества растущей твердой фазой.

При этом

$$a_1 = \alpha E_{\mathrm{Di}}/(T_{l0} - T_g)^\gamma,\ a_2 = E_{\mathrm{Di}} - E_{\mathrm{An}}, \tag{10}$$

где $E_{\mathrm{Di}}, E_{\mathrm{An}}$ – энергии активации вязкого течения расплавов диопсида (Di) и анортита (An) соответственно;
α – полуэмпирическая константа;

T_g – температура стеклования квазибинарного расплава.

Величины C' и C'_0 означают мольные доли примесного компонента (анортита) в расплаве и в расплаве исходного состава. Связь мольной доли с массовой концентрацией выражается зависимостью

$$C' = \frac{(\mu_{\mathrm{An}} / \mu_{\mathrm{Di}})C}{1 + \Delta\mu C / (100\mu_{\mathrm{Di}})}, \tag{11}$$

где μ_{Di}, μ_{An} – молярные массы анортита и диопсида соответственно, $\Delta\mu = \mu_{\mathrm{An}} - \mu_{\mathrm{Di}}$.

Величину $\eta_1(T)$ определим согласно закону Аррениуса

$$\eta_1(T) = \eta_0 \exp(E_0 / RT), \tag{12}$$

где η_0 – предэкспоненциальная константа;

$E_0 = E_{\mathrm{Di}} - (E_{\mathrm{Di}} - E_{\mathrm{An}})C'_0$ – энергия активации расплава исходного состава.

Уравнение (8) с учетом выражений (9) и (12) примет вид

$$\dot{f}_s = \frac{K v_T^s}{b\eta_0} \exp\left[-\frac{E}{RT}\right] \Delta T^n, \tag{13}$$

где $E = E_0 + a_1 \Delta T^\gamma - a_2 (C' - C'_0)$.

Для рассматриваемой системы Di + An коэффициент распределения $k \approx 0$, поэтому из соотношений (3), (4) получим

$$C = \frac{C_0}{1 - f_s}, \qquad \Delta T = -\beta_0 C_0 \frac{f_s}{1 - f_s} + v_T t. \tag{14}$$

Запишем уравнение (13) в безразмерном виде. Для этого примем в качестве масштабов физических величин следующие параметры: $t_* = \Delta T_e / v_T$, $T_* = \Delta T_e = T_{l0} - T_e$, $C_* = C_0'^{'}$, где T_e – температура эвтектики. В результате получим уравнение

$$\frac{df_s}{d\tau} = B \exp\left[-\frac{Q}{\theta}\left(1 + \alpha_1 \Delta\theta^\gamma - \alpha_2 \Delta\overline{C'}\right)\right] \Delta\theta^n, \tag{15}$$

где $\tau = t/t_*$, $B = K\Delta T_e^{1+n} / (b\eta_0 v_T^{1-s})$, $\theta = T/\Delta T_e$, $\Delta\overline{C}' = (C' - C_0^{'})/C'_0$,

$Q = E_0 / (R\Delta T_e)$, $\alpha_1 = a_1 \Delta T_e^\gamma / E_0$, $\alpha_2 = a_2 C'_0 / E_0$, $\Delta\theta = \Delta T / \Delta T_e$.

В процессе охлаждения и кристаллизации состав межкристаллитной жидкости при некоторых скоростях охлаждения может достигать эвтектического значения еще до начала стеклования. В этом случае уравнение (15)

необходимо дополнить некоторым соотношением, определяющим условие стеклования переохлажденной жидкости. По аналогии с работой [2], примем, что расплав будет стекловаться, если время появления в нем хотя бы одного зародыша новой кристаллической фазы будет больше времени его охлаждения до температуры стеклования. В противном случае процесс охлаждения сопровождается формированием эвтектики. При постоянной по объему (сечению) расплава скорости охлаждения условие стеклования можно записать в виде

$$\int_{t_g}^{t_e} VJ(t)dt = \frac{1}{v_T}\int_{T_g}^{T_e} VJ(T)dT \le 1, \qquad (16)$$

где V – рассматриваемый объем расплава;

t_e, t_g – время достижения расплавом температур эвтектики и стеклования соответственно;

J – скорость образования кристаллических зародышей при условии, что расстояние l_m между молекулами расплава пропорционально их характерному размеру a_m ($l_m = \xi a_m$, здесь ξ – коэффициент пропорциональности),

а связь коэффициента диффузии D с вязкостью подчиняется соотношению Эйринга $D = kT/(l_m\eta)$.

В результате получим выражение

$$J(T) = \frac{16\pi N}{(\xi a_m)^5 \eta_0}\left(\frac{\sigma T_A}{\kappa\rho}\right)^2 \frac{k_B T}{\Delta T^2}\exp\left[-\frac{E/R + A^*/k_B}{T}\right], \qquad (17)$$

где N – число молекул в единице объема межкристаллитной жидкой фазы;

σ – поверхностное натяжение на границе зародыш-расплав;

κ – скрытая теплота кристаллизации;

ρ – плотность среды;

k_B – постоянная Больцмана,

$A^* = \dfrac{16\pi\sigma^3 T_A^2}{3(\kappa\rho\Delta T)^2}$ – работа образования критического зародыша.

В рассматриваемом случае $V = d(1 - f_s)$, $N = d(1 - f_s)/a_m$.

Уравнение (13) решается численно методом Адамса-Мултона при начальном условии $f_s\big|_{\tau=0} = 0$. Счет заканчивается при охлаждении расплава до температуры стеклования T_g, значение которой определяется из условия, что вязкость в этом случае достигает $\eta(T_g) = 10^{12}$ Па·с. Поскольку температура стеклования входит в выражение для a_1, то ее значение определяется итерационным путем. После этого рассчитывается интеграл, и проверяется

выполнение условия (14). Если это условие оказывается выполненным, то окончательно фиксируется температура стеклования, и определяется доля стекловатой фазы $f_g = 1 - f_s(T_g)$.

Процесс образования стеклокристаллической структуры исследуем на примере затвердевания квазибинарной системы диопсид-анортит. Результаты численных экспериментов представлены на рисунках 1 – 2. Скорость охлаждения расплава варьируется в широком диапазоне v_T = 0,1 – 10 К/с. Из рисунка 1 видно, что температура стеклования в затвердевающей системе растет почти линейно с увеличением логарифма от локальной скорости охлаждения. Аналогично этому меняется и доля стекловатой фазы (рисунок 2), причем в указанном выше диапазоне изменения скорости охлаждения содержание стекловатой фазы в затвердевшей породе может составлять 35 – 51 %.(объемн.).

Рисунок 1 – Зависимость температуры стеклования от скорости охлаждения расплава

Рисунок 2 – Зависимость доли стекловатой фазы от скорости охлаждения расплава

Предложенная математическая модель позволяет прогнозировать условия формирования стеклокристаллической структуры в зависимости от параметров процесса. Проведенные расчеты показывают, что доля стекловатой фазы и температура стеклования возрастают с увеличением скорости охлаждения. Переохлаждение межкристаллитной жидкости растет с течением времени до конца процесса затвердевания. Последнее обусловлено влиянием на кинетику кристаллизации вязкости, быстрый рост которой приводит к уменьшению кристаллизационной способности расплава. Минимальная

скорость охлаждения, при которой прекращается стеклование рассматриваемой системы Di + An составляет порядка 0,1 К/с, что согласуется с известными опытными данными [3]. В характерном для отливок диапазоне скоростей охлаждения (0,1 – 1,0 К/с) содержание стекловатой фазы может составлять 35 – 51 %.(объемн.).

Список использованных источников

1. Черепанов А.Н., Шарапов В.Н. Теплофизический критерий стеклования расплавов в магматических телах // Геохимия. 1997. № 8. С. 825 – 834.
2. Федорченко А.И. Газодинамические и теплофизические особенности соударения капель расплава с твердыми поверхностями. Автореф. дис. д-ра физ.-мат. наук. Новосибирск, 1999. 37 с.
3. Richet P., Robie R.A., Hemingway B.S. Low-temperature heat capacity of diopside glass ($CaMgSi_2O_6$): A calorimetric test of the configurational-entropy theory applied to the viscosity of liquid silicates // Geochim. Cosmochim. Acta. 1986. V. 50. Iss. 7. P. 1521 – 1533.

УДК 658.5:65.14/.66

О НОРМАТИВНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯМИ ИТ-СЕРВИСОВ

Зимин В.В., Кулаков С.М., Левченко С.П.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Введение. В соответствии с ITIL (версия 3) [1] ***ИТ-сервис*** – средство производства ценности для заказчика, применение которого облегчает заказчику достижение необходимых бизнес-результатов без специфических для заказчика затрат и рисков. ИТ-сервис, встроенный в бизнес-процесс клиента, создает добавленную стоимость, которая и определяет ценность сервиса. Имеют место три основных причины формирования (соответственно, три класса) запросов на изменение сервиса (RFS – request for change): изменение требований бизнеса к ИТ-сервисам (рисунок 1), потребность в оптимизации ИТ-процессов и активов, исправление ошибок.

Специалисты применяют различные определения для разнообразных изменений. В частности ***изменение ИТ-сервиса*** *трактуется как дополнение, модификация или удаление авторизованных функций сервиса или его компонентов с соответствующим документированием.* В большинстве случаев обновленный сервис замещает старый в каталоге сервисов (при этом старый утилизируется). Не редки случаи, когда старый и обновленный сервис, как две различные авторизованные версии размещаются в каталоге и поддерживаются провайдером. ***Процесс управления изменениями (CM – change man-***

agement) направлен, прежде всего, на приведение в соответствие возможностей ИТ-сервисов изменяющимся бизнес-потребностям. [2]

Рисунок 1 – Роль ИТ-сервиса в изменении бизнес-процесса

Реализация каждого изменения увеличивает ценность ИТ-сервиса, например, увеличивает чистую прибыли бизнеса за счет быстрой реализации изменения или устранения (уменьшения) рисков. Ожидаемая выгода от реализации изменения должна покрывать затраты на выполнение изменения. Ценность ИТ-сервиса не всегда определятся в экономических показателях. Например, она может быть выражена в снижении затрат или рисков, снятии существующих ограничений, улучшении доступности, мощности/производительности, непрерывности, безопасности сервиса и т.п.

Каждый запрос на изменение может быть реализован отдельным проектным процессом [3]. Однако в силу большого количества регулярно инициируемых запросов на изменение сервисов и относительно малого масштаба таких проектов, этот подход приводит к нерентабельным проектам и, как следствие, к ограничению потока запросов на изменение сервисов. Последнее обстоятельство противоречит базовому принципу сервис-менеджмента – обеспечивать оптимизацию сервисов непрерывно в большом и малом [1]. Процесс управления изменениями является средством разрешения этой дилеммы. Каждая организация должна сформулировать правила (критерии), позволяющие однозначно определить, какой запрос на изменение квалифицировать как собственно изменение сервиса, а для какого необходимо инициировать проектный процесс. Приведем примеры изменений, которые обычно лежат за границами области определения процесса управления изменениями:

– изменения со значительно более широким воздействием, чем изменение ИТ-сервиса (например, организационные изменения, изменения политик и бизнес-процессов будут вызывать запросы на изменения сервисов (RFCs));

– изменения операционного уровня, такие как ремонт принтера или других стандартных компонентов сервиса.

Если первые из приведенных изменений относятся классу проектов, то вторые настолько незначительны, что их обработка как реализация изменений проектным процессом экономически неоправданна, и они обрабаты-

ваются специальным процессом стадии эксплуатации «управление запросами на обслуживание» [1].

Таким образом, правила (критерии), квалифицирующие запрос на изменение, позволяют сформировать область определения процесса управления изменениями – ***портфель изменений***. Владельцем процесса СМ обычно является менеджер изменений (представитель стадии ввода сервиса в эксплуатацию), в сферу ответственности которого входят жизненные циклы всех изменений. Основным компонентом системы управления изменением должен быть рентабельный механизм (процедура) обработки запроса на изменение, учитывающий множество факторов (оценку рисков нарушения или разрушения эксплуатационной среды, непрерывности бизнеса, воздействия изменений на бизнес, требуемых ресурсов, авторизацию изменений), а также снижающий стоимость и увеличивающий полезность изменений.

Организационная поддержка процесса СМ. Процесс управления изменениями является одним из самых востребованных процессов сервис-менеджмента. Большинство других процессов инициируют RFCs с целью оптимизации различных ИТ-активов [4]. В то же время для реализации изменений процесс СМ использует основные процессы всех стадий жизненного цикла сервиса - стратегии, проектирования, ввода в эксплуатацию, эксплуатации и утилизации. Эффективность процесса СМ в целом определяется общей культурой сервисного производства, которая должна обеспечиваться административной поддержкой, выражающейся в разработке и вводе в действие специализированных политик, стандартов и регламентов. Как показывает многолетний опыт, в том числе международный [2], эти документы должны, в частности, отражать действия, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Мероприятия для поддержки процесса СМ

1	Создание в ИТ-организации культуры управления изменениями, не допускающей несанкционированных изменений;
2	определение ограничений для персонала, который не уполномочен выполнять изменения, несмотря на наличие соответствующего доступа к эксплуатационной ИТ-среде;
3	согласованное функционирование процессов управления изменениями ИТ-сервисов и бизнеса, проектирования изменений и процесса управления изменениями ИТ-поставщиков;
4	классификацию и ранжирование изменений в соответствии с приоритетами (например, преимущество инновационных изменений в сравнении с профилактическими, профилактических - в сравнении с поисковыми, поисковых - в сравнении с корректирующими изменениями);
5	Обеспечение независимости средств контроля за изменениями от отдельных процедур процесса СМ;

Продолжение таблицы 1

6	установление единственного центра управления изменениями (чтобы минимизировать попытки реализации изменений, несовместимые с эксплуатируемыми сервисами или потенциально опасные для продуктивной среды); интеграцию процесса CM с другими процессами управления сервисами, чтобы контролировать этапы обработки изменений, обнаруживать несанкционированные изменения и определять инциденты, связанные с изменениями;
7	задание окон изменений, т.е. регламентация времени выполнения различных типов изменений эксплуатационной среды;
	выполнение оценок рисков для всех изменений и рисков воздействия изменений на возможности сервиса и продуктивной среды;
	определение критериев качества работы процесса CM (например, эффективность по целям и/или эффективность по затратам).

Классификация запросов на изменение (RFCs). Большое разнообразие возможных изменений сервисов, процессов и других ИТ-активов снижает эффективность (по затратам и времени) единой процедуры обработки изменений. Каждое изменение, в силу возникающих рисков и воздействия на активы, бизнес, пользователей, требует обязательной авторизации (санкционирования) заинтересованными участниками. Создаваемый для анализа и авторизации запросов на изменения специальный орган – Консультативный комитет по изменениям (CAB) [2] – существенно увеличивает время реализации изменений, что не всегда оправдано. С одной стороны, инициируется множество малорисковых и малозатратных (локальных) изменений, авторизацию которых можно делегировать менеджеру изменений, значительно сократив время их выполнения. С другой стороны, случаются аварии и чрезвычайные обстоятельства, требующие немедленных действий, в то время как оперативно собрать полномочный CAB (члены которого часто географически удалены друг от друга) не представляется возможным. Для принятия решений в этих случаях создается Чрезвычайный подкомитет по изменениям (ECAB). Организация может, исходя из ее особенностей, использовать дополнительные основания для классификации запросов на изменения. Методология ITIL (версия 3) предлагает в качестве базовой классификацию запросов на изменения, предусматривающую три класса:

– простые запросы на изменения (полномочия на авторизацию имеет менеджер изменений);

– нормативные запросы на изменения (полномочия на авторизацию имеет CAB);

– чрезвычайные запросы на изменения (полномочия на авторизацию имеет ECAB).

В итоге процесс управления изменениями состоит из трех подпроцессов, реализующих процедуры обработки изменений соответствующих классов.

Особенности обработки простых изменений. Примерами простых изменений являются изменения, связанные с обновлением персонального компьютера (PC) или программного обеспечения в соответствии с принятыми стандартами, или с географическим перемещением отдельного пользователя. Одобрение (санкционирование) каждого простого изменения осуществляется уполномоченным органом, определенным для данного типа изменения, который (например, руководитель ИТ-подразделения) выделяет бюджетные средства для инсталляции программного обеспечения из утвержденного в организации перечня для PC, или (например, инженер контрагента) меняет дефектный настольный принтер в соответствии с положением о гарантийном обслуживании. Ключевыми элементами процедуры простого изменения являются:

– четко определенный механизм инициации запросов на изменение (RFC);

– последовательность и регламентированность работ каждого шага;

– достаточность полномочий для выполнения работ на каждом шаге;

– контроль бюджетного финансирования простого изменения осуществляется уполномоченным лицом на шаге авторизации;

– низкие, известные риски простого изменения, а последствия рисковых событий - устранимые;

– отражение в CMDB изменений конфигурационных элементов, которые являются объектами базы данных конфигурационного менеджмента (CMDB), чтобы иметь возможность проследить жизненный цикл элемента конфигурации или ИТ-актива и обеспечить формирование отчетов об изменениях элементов, их текущем статусе, о связанных элементах конфигураций и их статусах.

Нормативная модель обработки изменений ITIL (версия 3). На рисунке 2 приведена принципиальная схема системы управления изменениями ИТ-сервисов и их компонентов.

Формирование запроса на изменение и регистрация данных о выполнении. Нормативное изменение инициируется любым специалистом или организованной группой. Запрос на изменение, которое предполагает существенное организационное и/или финансовое воздействие, должен включать экономическое обоснование. Информация, зарегистрированная при инициации запроса, обновляется в процессе всего жизненного цикла изменения. RFC может содержать ссылки на другие документы, например, на экономическое обоснование или отчет об оценке воздействия изменения. Записи, регистрируемые в запросе по мере обработки изменения (в течении его жизненного цикла), должны содержать полную хронологию эволюции изменения (присвоенный приоритет, авторизацию, другие этапы обработки, итоговое заключение). В некоторых специализированных системах управления изменениями (например, HP Open View) применяется упорядоченная последовательность работ по обработке изменения, которая обеспечивает полную прослеживаемость ЖЦ изменения. Поскольку запросы на изменения выпол-

няются в течение всего их жизненного цикла, то документы, отслеживающие изменения, формируются и обновляются в системе конфигурационного менеджмента по мере выполнения отдельных работ, чтобы можно было определить текущий статус изменения. Все оценки и соответствующие фактические ресурсы, стоимости и результаты (успешные или неудачные) регистрируются с последующим формированием управленческой отчетности.

Рисунок 2 – Структура системы управления изменениями ИТ-сервисов и их компонентов

Анализ оформления запроса на изменение. Процедура процесса CM предусматривает анализ всех зарегистрированных изменений и отклонение тех из них, которые:

– нецелесообразны (не отвечают или противоречат установленным целям и ограничениям);

– дублируют уже поступившие, принятые, отклоненные или находящиеся в стадии выполнения запросы;

– некорректно оформлены (например, некорректно описаны или не обеспечены финансированием).

Такие запросы возвращаются инициатору с кратким резюме о причине отклонения и регистрацией этого факта. Инициатору предоставляется право обжалования решения об отклонении в соответствии с установленной процедурой.

Анализ изменения с оценкой воздействия и рисков. Важнейшим этапом обработки изменения является оценка потенциального воздействия изменения на сервисы, сервисные активы и конфигурационные элементы и оценка выгод, связанных с изменением. Изменения могут и не привести к получению ожидаемых бизнесом выгод, и даже могут привести к отрицательному эффекту. В таблице 2 приведена информация, которая должна быть подготовлена для оценки изменения экспертами CAB.

Таблица 2 – Сведения, необходимые для оценки изменения

1	Воздействие, которое окажет изменение на бизнес-операции клиента.
2	Воздействие на ИТ-инфраструктуру и обслуживание клиентов в соответствии с требованиями к сервисам, моделям обслуживания и SLA, к мощности и производительности, надежности и отказоустойчивости, к непредвиденным ситуациям и безопасности.
3	Воздействие на другие сервисы, которые используют эту же ИТ-инфраструктуру.
4	Последствия, которые наступят в случае невыполнения изменения.
5	Ресурсы (ИТ, бизнеса и другие), требуемые для осуществления и эксплуатации изменения и их предполагаемая стоимость (количество и доступность персонала, необходимое время, новые элементы инфраструктуры).
6	Текущий список изменений и планируемый вывод сервисов из эксплуатации.
7	Воздействие на план непрерывности, план мощности, план безопасности, на данные и тестовую среду, на деятельность службы эксплуатации.

Оценки рисков, полученные исходя из интересов бизнеса, приводят к решениям, которые могут сильно отличаться от решений, формируемых на основе интересов ИТ-организации. Доминирующим агентом при определении уровня допустимого риска является бизнес. Каждый из экспертов CAB должен взвесить информацию, основанную на оценках воздействия и рисков, потенциальных выгодах, безотлагательности и стоимости изменения и принять решение о санкционировании изменения.

Назначение приоритета изменению. Применяется, чтобы определить порядок, в соответствии с которым выполняются инициированные изменения. Каждый запрос на изменение содержит авторскую оценку воздействия и безотлагательности изменения. Приоритет изменения определяется на основе совместного влияния воздействия и безотлагательности. Оценки воздействия и безотлагательности, предложенные инициатором изменения, могут

быть пересмотрены в процессе одобрения изменения. Оценка рисков имеет решающее значение на данном этапе. CAB нуждается в информации о бизнес-последствиях, чтобы эффективно оценить риски осуществления или отклонения изменения. Воздействие основано на выгодности изменения для бизнеса, которая будет являться следствием успешной реализации изменения, или степенью потерь, которые понесет бизнес, в случае ошибочного отклонения изменения. Воздействие не может быть выражено с абсолютной гарантией, оно зависит от вероятности событий или обстоятельств. Например, время реакции сервиса может быть приемлемым при эксплуатации в обычных условиях, но оно может ухудшиться при интенсивном использовании сервиса, которое может быть вызвано непредсказуемыми внешними факторами. Безотлагательность изменения связана с теми сроками, в течение которых изменение должно быть реализовано (например, в установленные законом сроки предоставления налоговой отчетности).

*Планирование изменения и составление расписания***.** Комплексное планирование выполнения изменения имеет целью исключение неопределенности в том, какие задачи включены собственно в процесс управления изменениями, какие задачи включены в другие (смежные) процессы и какими интерфейсами участвующие процессы связаны между собой и с поставщиками или проектировщиками. Многие изменения могут быть сгруппированы в один релиз и разработаны, протестированы и развернуты вместе, если все это множество изменений может быть совместно освоено бизнесом, ИТ-провайдером и пользователями.

Методология ITSM настоятельно рекомендует избегать критических деловых периодов для внедрения изменений. Предварительно согласованное и установленное регулярное окно для релизов помогает организации улучшить планирование и увеличить пропускную способность обработки изменений и релизов. Например, окно для релизов в период обслуживания пользователей в течение одного часа каждую неделю может быть достаточным, чтобы обрабатывать небольшие релизы стандартных изменений. Большие релизы, возможно, должны выполняться по согласованию с бизнесом и другими участниками в специально определенное время. Такой подход особенно пригоден для ИТ-сред с высокой интенсивностью изменений, где развертывание релизов – «узкое место», или в службах с высокой доступностью, где доступ к продуктивной среде для осуществления релизов ограничен.

Разработка плана действий на случай неудачного изменения. Подготовка процедуры «отката» (возврата в исходное состояние, к исходному базовому уровню конфигурации) при неудачном изменении является обязательным - ни одно изменение не может быть авторизовано без решения вопроса о том, что будет необходимо сделать, если изменение приведет к ИТ-отказу (будет неудачным). Обычной практикой является разработка плана возврата («отката») в исходное состояние посредством перезагрузки сохраненных библиотек ПО и наборов данных. Однако не все изменения являются обратимыми. В некоторых случаях требуется альтернативный подход к ис-

правлению ситуации с неудавшейся реализацией изменения. Необходимо разработать и протестировать план «отката» на случай неудачного релиза или изменения до их реализации. Риски могут быть оценены и значительно уменьшены при своевременном формировании и тестировании планов «отката».

Авторизация (одобрение) изменений. Для каждого реализуемого изменения должна быть получена обязательная формальная санкция от уполномоченного властного органа. Уровень полномочий, который необходим для принятия решения об одобрении изменения, определяется типом, размером и рисками, которые связаны с изменением. Например, изменения в структуре сайтов большого предприятия из-за влияния, которое они оказывают, должны быть одобрены на высоком уровне, таком как CAB предприятия, или Совет директоров. Общий уровень культуры организации в большой степени диктует способ, которым принимаются решения о санкционировании изменений. Иерархические структуры порождают многоуровневые схемы одобрения изменений, в то время как горизонтальные структуры могут позволить себе более рациональный подход.

Координация работ по реализации изменения. Санкционированные запросы на изменения (RFCs) передаются соответствующим техническим группам для реализации. В лучших практиках передача работ на выполнение оформляется способом, который позволяет проконтролировать исполнение задания, например, с использованием заказов на выполнение работ. Система управления изменениями отвечает за своевременную реализацию изменений. Достижение этой цели в значительной степени определяется эффективностью исполнения функции координации выполнения всех необходимых для реализации изменений работ (проектных, технических, программных). Процесс управления изменениями выполняет контрольную функцию в отношении качества тестирования всех изменений.

Анализ выполнения и закрытие изменения. Заключение о результатах изменения сервиса выполняется по прошествии определенного периода времени. Результаты отражаются в отчете оценки деятельности ответственных за управление изменениями, а затем представляются всем участникам процесса выполнения изменения для замечаний (включая тех, которые разрешают связанные с изменениями инциденты, проблемы или известные ошибки). В отчете должны быть отражены все инциденты и проблемы, возникшие в результате внедрения изменения (известные на момент формирования отчета). Если изменение является частью сервиса, которым управляет внешний провайдер, необходимо, возможно, по результатам внедрения инициировать уточнение договорных условий и целей обслуживания. Заключение о выполнении изменения (послевнедренческое резюме) должно подтверждать, что изменение достигло поставленной цели, что инициатор и участники процесса довольны результатами и неожиданных побочных эффектов при эксплуатации измененного сервиса не ожидается. Полученный опыт должен быть учтен при внедрении будущих изменений (в частности, для оптимиза-

ции самого процесса СМ). В этот процесс вовлечены члены CAB, так как анализ итогов внедрения изменений – одна из функций CAB. Общепринятое содержание заключения о выполнении изменения приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Структура заключения о выполнении изменения

1	Достижение изменением нужного эффекта или намеченных целей.
2	Удовлетворенность пользователей, клиентов и других участников результатами.
3	Отсутствие неожиданных или нежелательных побочных эффектов в функциональных возможностях, сервисном обслуживании, применимости (доступности, непрерывности, безопасности, производительности) и стоимости.
4	Корректность составляемых планов релизов и развертывания (с включением комментариев специалистов).
5	Соблюдение бюджетных ограничений.
6	Работоспособность планов «отката».

Если внедрение изменения не достигло заданных целей, система управления изменениями (или CAB) должна определить, какие необходимо предпринять меры для реализации RFCs (возможно, предварительно осуществить модификацию изменения).

О модели чрезвычайного (аварийного) изменения. Процедура выполнения чрезвычайного (аварийного) изменения тщательно разрабатывается и тестируется перед запуском. В противном случае отрицательное воздействие чрезвычайного изменения может оказаться большим, чем последствия аварийной ситуации (инцидента). Чрезвычайные изменения предусматриваются для случаев, связанных с исправлением тех ошибок в ИТ-сервисе, которые воздействуют на бизнес в высшей степени негативно. Изменения, которые внедряют немедленно требуемые бизнесом улучшения, обрабатываются как обычные изменения, но оцениваются с самой высокой степенью безотлагательности.

Список использованных источников

1. The Official Introduction to the ITIL Service Lifecycle, London: TSO 2007. – 173p.
2. OGC-ITIL V3-3 – Service Transition, London: TSO 2007. – 270p.
3. Д.А. Новиков Теория управления организационными системами / Новиков Д.А. М.: Московский психолого-технологический институт. 2005.- с. 584
4. Зимин В.В. Активы ИТ-провайдера как объекты ситуационно-динамического управления / Кулаков С.М., Зимин А.В// Известия вузов. Черная металлургия, №2 2011 (в печати).

УДК 004.65

РЕАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТНО-ПОДОБНЫХ СТРУКТУР СРЕДСТВАМИ РЕЛЯЦИОННЫХ БД

Климов В.Ю.

СибГИУ, г. Новокузнецк

В практике разработки реляционных баз данных средних и больших размеров для обработки данных производственных процессов предприятий часто возникает необходимость обеспечить удобство разработки и гибкость дальнейшей поддержки разрабатываемой системы. В подобных системах требуется хранить простые свойства моделируемых сущностей, обычно описываемых одним значением. При этом список свойств заранее не известен и одному экземпляру сущности может соответствовать несколько свойств. Реализация такой модели в виде одной таблицы базы данных для каждой сущности с большим количеством полей не очень рациональна, как с точки зрения эффективности работы базы данных, так и с точки зрения поддержки всей системы в случае расширения свойств сущностей, в виду того, что это приводит к необходимости изменения структуры таблицы, и, часто, к изменению клиентской части системы. Эти недостатки требуют от разработчиков БД реализации объектно-подобных структур. Обычно они представляются в виде пары «объект-свойство». Попытки реализации таких структур достаточно широко распространены и встречались ранее, например, в работах [1, 2].

Обобщенный пример реализации такого подхода представлен на рисунке 1.

Представленная модель не может реализовать полностью структуры, характерные для объектно-ориентированного подхода, так как в них нет возможности представления поведения и наследования объектов. Однако такая структура отличается простотой, высокой эффективностью использования дискового пространства, а также, самое главное, легкой расширяемостью.

К сожалению, кроме достоинств, у представленной модели также имеется серьезный недостаток, связанный с очень низкой производительностью при поиске или комплексной обработке информации. Это происходит из-за необходимости выполнять много соединений таблиц для обеспечения операций отбора или анализа данных.

Рассмотрим эту проблему более подробно. В случае если пользователю необходимо найти по нескольким условиям (например, по 4), соединенным логическим предикатом «И» и отобразить в табличном виде 8 определенных свойств объектов (не совпадающих с теми, что используются в условиях запроса), то для выполнения данной задачи потребуется выполнить запрос с 12 внутренними соединениями. При большом объеме данных это достаточно затратная операция. При увеличении сложности объектной струк-

туры количество свойств увеличивается, а вместе с ними прямо пропорционально растет и количество соединений, необходимых для обработки информации, что приводит к серьезной потере производительности.

Рисунок 1 – Пример реализации объектного подхода в реляционных СУБД

Проблема может дополнительно осложняется и тем, что обычно в базах данных масштаба предприятия в том или ином виде реализован контроль прав доступа не только на уровне таблиц, но и на уровне отдельных записей, что заставляет разработчиков активно использовать представления для каждой таблицы с вызовом специальных процедур, разрешающих права доступа. Это делает бессмысленным формирования запросов в ходе работы клиентского приложения, так как количество вызовов процедур, разрешающих права доступа, сильно возрастает из-за повторного использования одного и того же представления, что приводит к драматическому снижению производительности.

Наиболее кардинальным способом решения вышеописанных проблем является использование объектно-ориентированных баз данных при разработке систем масштаба предприятия, однако это не всегда возможно в силу причин исторического характера, отсутствия разработчиков, имеющих достаточный опыт работы с такими базами, нежеланием предприятия идти на дополнительные финансовые издержки на приобретение нового программного обеспечения, новизной ОО СУБД и отсутствием четко проработанной теории таких систем, а также другими причинами.

Возможным вариантом решения поставленной проблемы является создание специальной таблицы для осуществления сложных операций поиска

и анализа данных, в которой все свойства моделируемой сущности собраны в одном месте. То есть такая таблица является ненормализованной копией исходной структуры. Конечно, это приводит к дополнительным затратам, связанными с увеличение объема БД, обеспечением согласованности данных и разработкой специальных средств анализа и поиска данных. Однако это дает возможность сохранять функциональность исходной системы ценой задержки появления новых возможностей анализа и поиска данных при расширении системы. Но при этом новые данные могут храниться и обрабатываться в БД, дожидаясь появления возможности их анализа.

Целью данной работы является экспериментальная проверка эффективности работы базы данных при добавлении вышеописанной специальной таблицы как с точки зрения эффективности добавления новых свойств, так и с точки зрения анализа хранящихся данных.

Для проведения исследования была создана реляционная база данных на основании ER-диаграммы, представленной на рисунке 1. База была создана на СУБД Interbase 2007. Также для этой базы было разработано клиентское приложение с помощью визуальной среды разработки Delphi 7.

Клиентское приложение работает следующим образом: производится подключение к базе данных, после чего осуществляется запись примерно 10000 тысяч свойств объектов (с точностью до нескольких единиц, так как все свойства каждого объекта должны быть указаны полностью). Свойства объектов генерируются случайным образом из заранее заданного множества значений. Затем после небольшой паузы, что бы завершились фоновые процессы сервера, связанные со сбросом кэшированных данных на диск, выполняются тестовые запросы по выборке данных. Время выполнения всех этапов экспериментального процесса засекается с помощью высокоточной функции операционной системы Windows QueryPerformanceCounter.

В процессе исследования был проведен ряд экспериментов, суть которых состояла в том, что бы засечь время добавления примерно 10000 свойств для различных объемов базы данных. Также для каждого объема базы данных замерялось время выполнения простого запроса, возвращающего отсортированный по одному полю набор записей, состоящий из 10, 20 и 40 свойств объектов (на рисунках эти запросы называются соответственно «Запрос 10», «Запрос 20», «Запрос 40»). Несмотря на простоту такого запроса, он позволяет оценить сложность операций соединения и оценить эффективность предложенной методики. Время на выполнение каждого запроса ограничивалось 20 секундами. Это связано как с желанием ограничить длительность всего экспериментального цикла, так и с тем, что при работе в реальной многопользовательской среде время выполнения такого запроса по экспертным оценкам может увеличиться более чем в 10 раз, что не приемлемо для большинства приложений.

Каждый эксперимент выполнялся 10 раз, после чего данные усреднялись. Максимальный коэффициент вариации для каждого эксперимента не превышает 5%, а в среднем составляет менее 1%, что позволяет использо-

вать собранные данные для качественного анализа проблемы. Эксперименты выполнялись на одном и том же компьютере с минимальным количеством запущенных сервисов под управления Windows XP SP3. Конфигурация экспериментального компьютера: AMD Athlon 64 X2 Dual Core Processor 4600+, реальная частота работы процессора 2.4 ГГц, 1 Гб ОЗУ, жесткий диск Serial ATA объемом 160 Гбайт.

Результаты измерения снижения скорости добавления свойств объектов в графическом виде представлены на рисунке 2. Как видно из рисунка, добавление дополнительной ненормализованной таблицы приводит к значительному снижению скорости добавления. Однако снижение скорости добавление не равномерно в зависимости от объема данных, составляя 6-ти кратное снижения для пустой базы данных и чуть более 2-х кратного для базы данных, состоящих из 2 000 000 свойств.

Рисунок 2 – Замедление вставки записей при использовании дополнительной таблицы

На рисунке 3 представлены графики ускорения выполнения различных вариантов выполнения запросов, с использование дополнительной таблицы и без нее. Как видно из графиков, минимальное ускорение для более простого варианта запроса («Запрос 10») около 5 раз, для более сложных вариантов составляет 8 и 10 раз (соответственно, «Запрос 20» и «Запрос 40»). При этом ускорение оказывается более значительным в случае большего объема базы данных. Можно предположить, что характерная ступенька на графике связана с более эффективным использованием кэш-памяти в случае использования дополнительной ненормализованной таблицы.

Рисунок 3 – Ускорение выполнения запросов при использовании дополнительной таблицы

Исходя из двух вышеприведенных рисунков можно сделать вывод, что выигрыш от ускорения запросов превышает проигрыш от замедления операций добавления данных, а при больших объемах БД выигрыш является весьма значительным.

Так же интересно проанализировать максимальное количество свойств, обрабатываемых каждым из экспериментальных запросов за отведенное время. Эти данные приведены на рисунке 4. Как видно из рисунка, для всех трех вариантов экспериментальных запросов наблюдается существенное увеличение максимального количества обрабатываемых свойств. Но так как по мере усложнения запросов общее количество обрабатываемых свойств падает в обоих случаях, то из приведенного рисунка не ясно, какие запросы, простые или сложные, лучше реагируют на использование дополнительной таблицы. Для уточнения необходимо рассчитать относительное увеличение количества свойств как отношение максимального количества записей при использовании дополнительной таблицы и без ее применения.

Такие данные приведены на рисунке 5. Из рисунка следует, что более сложные запросы выигрывают больше от использования дополнительно таблицы, нежели простые. Но даже в случае простых запросов выигрыш оказывается весьма значительным.

Размеры баз данных без дополнительной таблицы и с ней составили соответственно 472 Мбайта и 1024 Мбайта. Более чем двукратное увеличение размера вызвано вынужденным дублированием информации при организации дополнительной таблицы. Однако для современных аппаратных средств такие объемы данных не являются лимитирующими.

Рисунок 4 – Максимальное количество свойств, обрабатываемых запросами

Рисунок 5 – Увеличение количества обрабатываемых свойств при использовании дополнительной таблицы

На основе анализа полученных экспериментальных данных удалось установить, что использование дополнительной таблицы приводит к заметному снижению производительности при выполнении модификации данных. Это связано с добавление данных в такую таблицу и перестройкой имею-

щихся в ней индексов. При этом также отмечается существенное ускорение выполнение запросов по выборке данных, которое при небольшом объеме данных примерно соответствует аналогичному замедлению при выполнении операций модификации, а при значительных размерах БД серьезно превышает потери от снижения производительности при модификации данных. Кроме того, существенно увеличился объем данных, при которых тестовые запросы выполнялись за приемлемое время.

На основании проведенного исследования можно рекомендовать данную методику для внедрения при разработке и реинжиниринге баз данных среднего и большого объема, в процессе использовании которых операции модификации данных встречаются примерно в 2 и более раз реже, чем операции по выборке данных.

Практическую проверку данная методика прошла при разработке корпоративной системы информационного сопровождения учебного процесса СибГИУ. При первоначальном проектировании базы данных была создана объектно-подобная структура, хранящая в отдельной таблице простые свойства студентов. В процессе промышленной эксплуатации по мере заполнения базы информацией (в настоящее время в базе храниться сведения более чем о 15 000 студентов) было замечено значительное снижение производительности во время просмотра объемных списков студентов (например, факультета) и построении аналитических отчетов. Это связано с большим количеством соединений при представлении пользователям системы информации о студенческом контингенте, а также с работой системы безопасности, ограничивающей права доступа на уровне отдельных записей о студентах.

Для преодоления возникшей проблемы существенного снижения производительности была организована общая таблица свойств студентов, использование которой позволило существенно ускорить практически все операции по поиску и анализу данных, существенно снизив при этом загрузку сервера, на котором помимо данной базы данных используется и другие корпоративные информационные системы, что привело к существенному повышению производительности сервера и используемых корпоративных информационных систем. Также это позволило достичь достаточно значимого экономического эффекта, так как после модификации структур базы данных отсутствует необходимость в покупке дополнительного сервера и программного обеспечения или модернизации существующей аппаратной платформы.

Список использованных источников

1. Представления идентифицируемых сложных объектов в реляционной базе данных [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.gpntb/ru/win/search/help/el-cat.html. – Загл. с экрана.
2. Тенцер Анатолий База данных – хранилище объектов /Анатолий Тенцер// Компьютер-пресс. – 2001. – № 8 [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.gpntb/ru/win/search/help/el-cat.html. – Загл. с экрана.

УДК 669.162.28

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОТЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ ОАО «ММК» НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТА REPORTING SERVICES[1]

Лавров В.В., Бурыкин А.А.*, Спирин Н.А.*, Краснобаев А.В.**, Жидков Д.А.**

**ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург
*ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск

Использование современных информационных технологий в практике работы металлургических предприятий является одним из важнейших способов повышения эффективности технико-экономических показателей работы. В то же время, риски от принятия необоснованных управленческих решений с учетом относительно больших объемов потребляемых сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, а также выпускаемой продукции резко возрастают [1, 2]. В этой связи возникает необходимость создания программно-аппаратных комплексов, позволяющих инженерно-технологическому персоналу оперативно производить анализ работы металлургических агрегатов, оценивать текущее состояние хода технологического процесса, производить анализ наметившихся отклонений ключевых показателей, выявлять причины, повлекшие эти отклонения и разрабатывать мероприятия по повышению эффективности металлургического производства.

В доменном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») разработан и внедрен в опытно-промышленную эксплуатацию программный комплекс анализа и прогнозирования производственных ситуаций [3, 4], одним из главных компонентов которого является система отображения отчетных показателей. Система отображения отчетных показателей доменного производства основана на использовании системы управления базами данных Microsoft SQL Server и встроенного в нее инструмента Reporting Services. Инструментарий Reporting Services представляет собой набор служб, Web-приложений и баз данных, объединенных в среду для управления отчетами [5].

На рисунке 1 представлена архитектура системы, основными компонентами которой являются сервер базы данных, сервер отчетов и рабочая станция разработчика.

Сервер базы данных служит источником получения информации в итоговый отчет. Обращение к ней осуществляется с помощью стандартного набора инструкций, который включает в себя: тип источника, который планируется использовать для получения данных. На сервере базы данных за-

[1] Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом Федерального агентства по науке и инновациям № 02.740.11.0152.

пущена служба SQL Server Agent, которая используется в Microsoft SQL Server для автоматического выполнения заданий (jobs) в заданное время. Администратор базы данных определяет дату запуска программы задания для службы SQL Server Agent.

Рисунок 1 – Архитектура системы разработки, распространения и хранения отчетов

База данных сервера отчетов используется для хранения каталога отчетов, включая сведения о структуре папок Web-сайта и настройках безопасности для каждой папки и отчета. Временная база данных (Temp DB) служит промежуточным хранилищем для текущих операций службы Reporting Services, информация в ней используется администратором для отслеживания действий пользователей Web-сайта менеджера отчетов в текущий момент. В Temp DB хранятся также копии наиболее часто используемых отчетов, формируя кэш их выполнения для повышения производительности системы (снижения времени доступа).

Создание макетов отчетов осуществлено с использованием конструктора, работающего под управлением программной среды разработки Business Intelligence Development Studio. Результатом работы является набор отчетов, выполненных на основе выбранных шаблонов, которые помещаются в каталог отчетов в формате RDL-файлов.

Центральным звеном системы является *сервер отчетов*, который представляет собой программную среду для отображения итоговых отчетов пользователям системы, имеющим к ней доступ. Службы Reporting Services не взаимодействуют с пользователями напрямую, они работают в фоновом режиме, обрабатывая запросы различных приложений (браузеров, внешних программ, инструменты доставки отчетов по подписке) через web-службы. Поэтому на сервере отчетов необходимо запустить службу Internet Information Services (IIS), которая используется пользователем для получе-

ния отчета на свой компьютер через корпоративную сеть предприятия (технология Intranet). Web-служба позволяет серверу отчетов получать информацию с удаленного компьютера через компьютерную сеть. Поскольку нагрузка трех серверных приложений – IIS, SQL Server и Reporting Services – разделена между двумя серверами, то система может параллельно доставлять отчеты большему числу пользователей, что делает ее легко масштабируемой.

В основу системы отображения отчетных показателей работы доменного цеха положена двухуровневая модель построения информационных систем. В процессе разработки системы создана внешняя модель (схема) базы данных Report под названием OLAP_DC, которая включает в себя набор таблиц для использования инструментом подготовки отчетов Reporting Services. Таблицы OLAP_DC размещаются непосредственно в базе данных Report и заполняются данными автоматически по расписанию раз в месяц из таблиц системы подготовки технического отчета доменного производства. Транспортировка данных происходит с помощью пакета Integration Services конструктора отчетов в среде Business Intelligence Development Studio. Готовый отчет может поступать пользователям в различных форматах, например в виде HTML-отчета для Web-браузеров (например, Internet Explorer) или формата офисных документов (например, MS Office Excel).

В процессе разработки системы отображения отчетных показателей работы доменных печей и цеха были спроектированы изменения в структуре хранения данных на сервере аглодоменного цеха и создан набор необходимых отчетов. На рисунке 2 представлена архитектура разработанной системы, где отображены набор внешних моделей базы данных и перечень созданных отчетов. Каталог отчетов включает в себя шаблоны документов с возможностью отображения в табличной и графической форме динамики изменения любого показателя технического отчета доменного цеха и предоставления средств анализа ключевых производственных показателей для решения технологических задач управления доменной плавкой.

В результате разработки системы отображения отчетных показателей работы доменного производства создан набор интерактивных отчетов (шаблонов), которые позволяют отображать в численном и графическом виде свыше 200 показателей работы всех доменных печей комбината за произвольный период их работы. Инструментарий Reporting Services включает средства просмотра отчетов, которые работают с обычным браузером. Эти средства отображения обеспечивают высококачественную презентацию каждого отчета на языке разметки DHTML (динамический HTML). Отчеты могут быть представлены на нескольких страницах вместе с кнопками прокрутки. Поскольку отчет генерируется на языке динамического HTML, то установка дополнительных программ на компьютер пользователя не требуется. Любой отчет можно просмотреть в любом браузере, который поддерживает версию HTML не ниже 4.0. Доступ к серверу отчетов определяется настройками безопасности, которые осуществляет администратор базы Цен-

тра АСУ данных аглодоменного производства. Дополнительной возможностью доставки отчетов пользователям является процедура подписки на отчет – в этом случае он будет автоматически получать его через заданный период времени по электронной почте. Reporting Services будет отправлять копию отчета в виде присоединенных файлов в электронном письме каждому подписчику в определенное время.

Рисунок 2 – Архитектура системы отображения показателей работы доменного цеха

На рисунке 3 представлено окно браузера для просмотра созданных отчетов показателей доменного производства. Как видно из этого рисунка, на Web-странице представлены гиперссылки на отдельные диаграммы, что предоставляет возможность пользователю просмотреть динамику изменения отчетных показателей различных аспектов доменного производства в виде графических трендов. Фрагмент графических трендов, представленный в отчете на рисунке 4, демонстрирует основные функциональные возможности системы. В частности, пользователю предоставляется возможность интерактивного выбора из списков показателей для отображения, доменных печей. При этом указанные параметры настроены по технологии «множественный выбор» (multi-value), что позволяет выводить на график несколько графических трендов для визуального сравнения характера динамики изменения параметров. Настройку начала и окончания временного периода для отображения показателей пользователь может осуществить по календарю. Наглядность представления графических трендов достигается благодаря дополнительным функциональным возможностям системы: наличие средств автоматического масштабирования осей численных показателей и временной шкалы, пояснение трендов в виде легенды, возможность динамического изменения масштаба отображения, поиск символьных значений на листе отчета и пр.

Рисунок 3 – Окно браузера для просмотра графических трендов отчетных показателей доменного производства

Рисунок 4 – Пример отображения графического тренда на Web-странице отчета

Помимо графических трендов система позволяет отобразить отчетные показатели работы доменных печей и цеха в численном виде. После выбора соответствующего показателя в окне браузера отобразится отчет, включающий в себя таблицу с набором интерактивных элементов управления. Пример отчета о среднесуточных данных производства доменных печей приведен на рисунке 5. С помощью представленных элементов управления пользователь может настраивать вид отчета: выбирать отчетные годы, месяцы и перечень доменных печей. В таблице расположены интерактивные списки, благодаря которым возможно скрывать/отображать численные значения величин по отдельным годам.

Рисунок 5 – Пример отчета о среднесуточных показателях производства доменных печей

Итоговый вид отчета также можно экспортировать в форматы документов, с помощью которых можно будет передать отчет конечному пользователю. Форматы представления отчетов в Reporting Services являются презентационными (presentation), они сохраняют в неизменном виде макет отчета, его шрифты, цвет и графику. Инструмент Reporting Services поддерживает экспорт отчетов в следующие форматы:

– графические образы TIFF;
– документы Adobe PDF;
– документы MHTML (Web-архивы);
– рабочие книги MS Office Excel;
– печатная версия отчета;
– HLML (Web-страница).

Таким образом, в результате с использованием современной технологии разработки и программных инструментальных средств [6] создана и

внедрена в опытно-промышленную эксплуатацию система отображения отчётных данных программного комплекса анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», которая предоставляет в распоряжение инженерно-технологического персонала современный инструмент оперативного анализа отчётных показателей работы [7]. Использование разработанной системы позволяет инженерно-технологического персоналу оперативно проводить анализ производственных ситуаций доменного цеха, решать задачи управления технологией доменной плавки, что в конечном итоге обеспечивает повышение технико-экономических показателей работы доменного производства.

Список использованных источников

1. Спирин Н.А., Ипатов Ю.В., Лобанов В.И. и др. Информационные системы в металлургии / Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
2. Спирин Н.А., Лавров В.В., Паршаков С.И., Денисенко С.Г. Оптимизация и идентификация технологических процессов в металлургии / Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. – 307 с.
3. Создание программного комплекса «АРМ технолога доменного цеха» на основе современных информационных технологий / В.В. Лавров, Н.А. Спирин, А.А. Бурыкин, А.В. Краснобаев. – Сталь, 2010, №1. – С. 17–21.
4. Lavrov V. V., Spirin N. A., Burykin A. A., Krasnobaev A. V. Creation of software for blast-furnace workstations on the basis of up-to-date information technology. Steel in Translation, 2010, Vol. 40, No. 1, pp. 31-34.
5. Ларсон Б. Microsoft SQL Server 2005 Reporting Services. Традиционные и интерактивные отчеты. Создание, редактирование и управление. – М.: НТ Пресс, 2008. – 608 с.
6. Технология и средства разработки информационно-моделирующих систем для решения технологических задач в металлургии / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, А.А. Бурыкин, А.В. Краснобаев, А.Г Быков. – Известия Томского политехнического университета, 2010. – Т. 316. – №5. – С.156–162.
7. Разработка системы отображения отчетных показателей доменного производства на основе Reporting Services / В.В. Лавров, Н.А. Спирин, А.А. Бурыкин, А.В. Краснобаев. Известия Томского политехнического университета, 2010. – Т. 317. – №5. – С. 68–73.

УДК 669.162.28

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ ДОМЕННОГО ЦЕХА В СРЕДЕ ALLFUSION PROCESS MODELER[1]

Лавров В.В., Бурыкин А.А., Спирин Н.А., Сухоросов М.Г.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

Одним из основных показателей качества программного обеспечения автоматизированных информационных систем, как известно, является его функциональность и надежность [1]. Важнейшим этапом разработки, во многом определяющим требуемый уровень этих показателей, является анализ и проектирование функций, процессов взаимодействия системах.

В основу метода, использованного при проектировании автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат, положены идеи и нотации стандарта IDEF0 (Integrated computer aided manufacturing DEFinition), который является развитием графического языка описания функциональных систем методики SADT (Structural Analysis and Design Technique) [2]. Использование методики IDEF0 позволило создать функциональную структуру программного комплекса, выявить производимые им действия и связи между этими действиями, управляющие воздействия и механизмы выполнения каждой функции, что, в конечном итоге, позволило на ранней стадии проектирования предотвратить возможные ошибки. Практическая реализация функциональной модели выполнена с использованием пакета AllFusion Process Modeler (ранее BPwin), созданный компанией Computer Associates. Этот инструмент помогает четко документировать важные аспекты любых процессов: действия, которые необходимо предпринять, способы их осуществления и контроля, требующиеся для этого ресурсы, а также визуализировать получаемые от этих действий результаты [3].

Внешний вид контекстной диаграммы функциональной модели автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха (АИС АППС ДЦ) представлен на рисунке 1. На первом уровне функциональной модели выделены два основных потока *входной информации* в систему (*Input*): данные из систем АСУ ТП и корпоративной информационной системы (КИС), а также отчетные документы по производству. Конкретизация входных данных представлена на последующих этапах декомпозиции системы. *Интерфейс управления*

[1] Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом Федерального агентства по науке и инновациям № 02.740.11.0152.

(*Control*) можно разбить на четыре логических блока: совокупность документов (технологических инструкций, руководств пользователей); нормативно-справочной информации (НСИ); требований пользователей; описание математических моделей и алгоритмов, на основе которых проведена разработка программного обеспечения по анализу и прогнозированию работы доменных печей и цеха. Заметим, что под документами понимается инструкции ведения технологических процессов, существующих на предприятии и утвержденных в качестве стандарта предприятия и руководства пользователей для работы с автоматизированными рабочими местами.

Рисунок 1 – Контекстная диаграмма функциональной модели АИС АППС ДЦ

Механизмы (*Mechanism*), представленные на контекстной диаграмме функциональной модели и участвующие в реализации данной функции, представлены набором основных структурных подразделений и производств, которые являются поставщиками и потребителями той или иной части информации АИС АППС ДП: технологическая группа доменного цеха (ДЦ), информационно-вычислительный центр АСУ (ИВЦ АСУ) аглодоменного производства, энергоцех, центральная лаборатория комбината (ЦЛК), экономисты доменного цеха. В качестве *выходной информации* (*Output*) АИС АППС ДП понимается набор отчетных документов, характеризующих итоговые показатели работы доменных печей и цеха в целом за отчетный период, а также результаты прогнозной оценки работы печей с использованием модельных систем поддержки принятий решений. Первая часть документов имеет чисто статистический характер, вторая – результат расчета по математическим моделям доменного процесса, которая имеет своей целью провести анализ работы доменных печей и цеха в проектном периоде при изменении топливно-сырьевых условий их работы. В последнем случае с помощью АИС АППС ДП инженер-технолог может количественно оценить тепловое

состояние доменных печей, спрогнозировать дутьевой, газодинамический и шлаковый режимы доменной плавки.

Первый уровень декомпозиции функциональной модели АИС АППС ДЦ предполагает разбиение на законченные, но информационно, с точки зрения использования данных для анализа, взаимосвязанные подсистемы. Диаграмма первого уровня декомпозиции модели представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Первый уровень декомпозиции функциональной модели АИС АППС ДЦ

Функция *«Сбор и первичная обработка данных»* (*A1*) обеспечивает автоматическое наполнение системы данными из АСУ ТП и КИС. Сбор первичных данных производится в строго регламентированные моменты времени, которое установлено согласно требованиям инженерно-технологического персонала доменного цеха. Функция *A1* наиболее информативна с точки зрения как количества параметров, так и с точки зрения объемов информации. Набор подключаемых параметров по конкретной доменной печи определяется условиями технического задания, разрабатываемого при реконструкции или капитальном ремонте доменной печи. Среднее количество параметров, отслеживаемое в АСУ ТП на ОАО «ММК» на одной доменной печи, составляет около 500, число работающих доменных печей 8. В зависимости от характера измеряемого параметра и требований технологических алгоритмов по использованию данного параметра в расчетах периодичность опроса параметров составляет от одной до нескольких секунд. Учитывая их оперативность и большие объемы, большая ответственность ложится на их первичную обработку и фильтрацию заведомо некорректных данных и их последующее хранение для использования в АИС АППС ДЦ.

В первичной обработке данных участвуют работники различных подразделений комбината (технологическая группа доменного цеха (ДЦ), ин-

формационно-вычислительный центр АСУ (ИВЦ АСУ) аглодоменного производства, энергоцех, центральная лаборатория комбината (ЦЛК), экономисты доменного цеха). Технологический персонал при выполнении этой функции руководствуется соответствующими технологическими инструкциями и руководствами пользователей существующих автоматизированных рабочих мест (АРМ) корпоративной сети комбината (АРМ мастера доменной печи, АРМ газовщика, АРМ весовщика и др.).

Выходная информация служит источником для всех других подсистем, в частности визуализации данных о работе доменных печей, сопоставительной оценки отчетных показателей, формирования технического отчета доменного цеха, проведения анализа и прогнозирования работы доменных печей и цеха в целом при возможных изменениях топливно-сырьевых условий их работы.

Функция *«Визуализация данных» (А2)* обеспечивает возможность построения графических трендов фактических и основных технико-экономических показателей работы доменных печей и цеха по среднесменным и суточным данным. Выбор показателей работы осуществляется на основе требований пользователей системы и блока нормативно-справочной информации. Выполнение этой функции обеспечивают, главным образом, работники технологической группы доменного цеха.

Результатом выполнения функции является набор отчетных документов с результатами визуальной оценки, а также численные данные, используемые для построения гистограмм, которые можно использовать для более детального анализа технологических режимов доменной плавки.

Функция *«Технический отчет» (А3)* обеспечивает подготовку и формирование всех сведений о работе доменного цеха за календарный месяц или за период с начала года до указанного месяца. Выполнение этой функции обеспечивается сотрудниками технологической группы доменного цеха, ИВЦ АСУ аглодоменного производства, энергоцеха, ЦЛК, экономистами доменного цеха. Руководящими документами для этой подсистемы являются технологическая инструкция доменного цеха, руководства пользователей автоматизированных рабочих мест, нормативно-справочная информация корпоративной сети комбината и требования пользователей к обработке данных.

Выходом подсистемы являются отчетные документы по основным разделам доменного производства.

Функция *«Сопоставительный анализ» (А4)* обеспечивает возможность сравнения отчетных показателей работы доменных печей за месяц или за период с начала календарного года до указанного месяца. Источником данных этой функции являются сведения о работе доменных печей, которые были подготовлены подсистемой «Технический отчет» и утверждены официально руководством доменного цеха.

Функция *«Анализ и прогнозирование» (А5)* позволяет проводить оценку и прогнозирование работы доменных печей и цеха в условиях, когда планируются изменения топливно-сырьевых условий их работы. Входные дан-

ные в эту подсистему поступают из подсистем *А1* и *А3*. Обработку данных производят с помощью специального программного модуля, основу которого составляют математические модели газодинамического и шлакового режимов доменной плавки.

Данная подсистема выполняет одну из наиболее важных с информационной точки зрения задач – предоставляет технологическому персоналу данные для проведения анализа работы доменных печей и цеха в целом и осуществление прогнозирования возможных событий, связанных с изменением критичных для технологического процесса входных параметров. Результаты прогнозной оценки фиксируются в виде специальных табличных и графических форм, экспортированных в популярные форматы отчетных документов.

Основываясь на результатах анализа информации, собранной при реализации предыдущих функций, по определенным алгоритмам производится анализ работы доменных печей и цеха в целом, оценивается текущее состояния хода доменного процесса, производится анализ наметившихся отклонений ключевых показателей, выявляются причины, повлекшие эти отклонения, осуществляется прогнозирование.

Полученная информация используется инженерно-технологическим персоналом для решения ряда технологических задач, разработки мероприятий по повышению эффективности работы доменных печей и цеха, а также принятия обоснованных управленческих решений по их внедрению в практику доменного производства.

Проиллюстрируем методологию дальнейшей декомпозиции только на рассмотрении функций *А3* и *А5*, вклад которых, с точки зрения информации, наиболее существенен для успешного использования АИС АППС ДП.

Функция *А3* «*Сформировать технический отчет о работе доменных печей и цеха*» является одной их основных, так как именно здесь создается отчетная информация, касающаяся всех аспектов производства доменных печей и цеха в целом за календарный месяц. Подсистема *А3*, как видно из рисунка 3, декомпозирована на девять подсистем. В качестве входной информации использованы отчетные документы по производству (справки, отчеты, распоряжения и пр.) и данные ИВЦ АСУ доменного цеха. Реализацию подсистем осуществляют работники технологической группы ДЦ, ИВЦ АСУ аглодоменного производства, энергоцеха, ЦЛК и экономисты ДЦ на основании технологической инструкции, НСИ и требований к обработке данных. Выходная информация функций *А31 – А38* является входной для подсистемы *А39*.

Функция *А31* производит учет поступления, расхода и остатка на конец месяца каждого вида шихтового материала, расхода скипового кокса (влажного и сухого), расхода сухой коксовой мелочи, расхода сухого металлургического кокса.

Функция *А32* формирует сведения по: графику выпусков чугуна и шлака (количество плановых и фактических выпусков, процент выполнения

графика выпусков); плановым и производственным показателям выплавки передельного и литейного чугунов, выходу шлака (план производства чугуна, план с учетом простоев, налив и слив передельного чистого (без шлака) и «грязного» (вместе со шлаком) чугуна, выплавленный чугун с кислородом, природным газом, количество шлака, процент выполнения производства по чугуну); производству передельного и литейного чугуна в чушках; потерях чугуна и шлака; потребителях чугуна (количество ковшей, миксеров и средний налив чугуна для каждого потребителя); использованию шлака по доменному цеху.

Рисунок 3 – Декомпозиция функции А3 «Сформировать технический отчет о работе доменных печей и цеха»

Функция *А33* позволяет получить сведения по: химическому составу компонентов доменной шихты, золы кокса, природного газа, выплавленного чугуна и полученного шлака; показателям качества кокса (М10, М25, М40, влажности, содержанию золы, летучих, серы, углерода, фракционному составу, реакционной способности кокса (*CRI*), горячей прочности (*CSR*)) и чугуна (процент выплавленного чугуна с содержанием серы более 0,020 и 0,022 %).

Функция *А34* производит формирование сведений по простоям и состоянию технологического оборудования. Сведения о простоях доменных печей поступают автоматически из АСУ ТП и включают в себя учет типа, категории и вида каждого простоя, реального времени его начала и окончания, продолжительности простоя. Оценка состояния технологического оборудования включает в себя выбор типа оборудования из блока НСИ и указание варианта его состояния (неудовлетворительное, удовлетворительное, хорошее).

Функция *А35* позволяет зафиксировать характеристики работы работу воздухонагревателей доменных печей, в частности температуру купола, температуру дымовых газов и продолжительность цикла, в том числе воздушного периода.

Функция *А36* реализует ввод данных из систем АСУ ТП и КИС. Сведения, поступающие из АСУ ТП, включают в себя данные по влажности кокса, параметрам воздушного дутья и колошникового газа, температуре чугуна, использованию энергоресурсов в доменных печах и цехе. Из КИС поступают данные по расходам сырья, кокса, энергоресурсов для каждого производственного задания.

Функция *А37* позволяет отследить работу ковшевого парка доменного цеха. Сведения, формируемые функцией *А37*, включают в себя данные о наличии ковшей, количестве ковшей в работе, ремонте, резерве, отремонтированных, службе ковшей наливов и количестве смененных шлаковых чаш.

Функция *А38* учета рабочих кадров формирует сведения о количестве людей по плану, фактическому среднесписочному составу, количестве рабочих на конец месяца, величине отработанных человеко-часов.

Окончательная реализация данного этапа декомпозиции системы зависит от реализации функции проверки и подписания технического отчета (функция *А39*). Функция *А39* осуществляет предварительное отображение следующих разделов технического отчета доменного цеха.

После предварительного просмотра отчета функция *А39* позволяет выполнить его подписание. Подписание отчета делает недоступным любые изменения данных в отчетном месяце. С помощью этой функции пользователь может скорректировать фамилии и должности сотрудников, которые несут ответственность за содержание технического отчета. Выполнение этой функции, согласно технологической инструкции доменного цеха, возложено на пользователя из состава технологической группы, наделенного соответствующими полномочиями. При необходимости возможно отложить подписание отчета, в этом случае станет возможным редактирование данных в текущем месяце.

Реализация функции *А5 «Выполнить анализ и прогнозирование работы доменных печей и цеха»* производится на основании комплекса математических моделей и алгоритмов, которые позволяют производить анализ шлакового, газодинамического и теплового режимов доменной плавки и прогнозировать работу доменных печей при изменении топливно-сырьевых условий (рисунок 4).

В качестве входной информации в подсистеме *А5* используются фактические данные о работе доменных печей, поступающие из подсистем *А1–А4*. В результате реализации данной функции инженерно-технологический персонал качественно и количественно оценивает возможности использования различных видов сырья и топлива с учетом заданных требований по производству чугуна, составу жидких продуктов плавки, шлаковому, газодинамическому и тепловому режимов в доменной плавки.

Рисунок 4 – Декомпозиция функции А5 «Выполнить анализ и прогнозирование работы доменных печей и цеха»

В результате на основе системного подхода разработана функциональная модель автоматизированной информационной системы инженерно-технологического персонала доменного цеха, определены основные функции и взаимосвязи между отдельными функциональными блоками. Общее количество декомпозированных блоков функциональной модели АИС АППС ДЦ составляет 136.

Результаты функционального моделирования позволили в дальнейшем перейти к следующим этапам разработки системы – структурному моделированию и созданию программного обеспечения отдельных подсистем [4]. В конечном итоге, разработана автоматизированная информационная система анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха, которая внедрена в АСУ доменного производства ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» [5, 6]. Созданная система интегрирована в существующую информационную структуру и позволяет на основе имеющейся фактической отчетной информации осуществлять анализ и прогнозирование производственных ситуаций в доменном цехе, а также решать комплекс технологических задач. С ее помощью инженерно-технологический персонал реализует мероприятия, направленные на повышение качества анализа, прогнозирования и планирования технологических ситуаций.

Список использованных источников

1. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс [Текст]: [пер. с англ.] / С. Макконнелл. – СПб.: Питер, 2007. – 896 с.

2. Одинцов И.О. Профессиональное программирование. Системный подход. 2-е изд. перераб. и доп. [Текст] / И.О. Одинцов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с.
3. Дубейковский В.И. Эффективное моделирование с AllFusion Process Modeler 4.1.4 и AllFusion PM. / В.И. Дубейковский. – М.: Диалог-МИФИ, 2007 – 383 с.
4. Технология и средства разработки информационно-моделирующих систем для решения технологических задач в металлургии / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, А.А. Бурыкин, А.В. Краснобаев, А.Г Быков. – Известия Томского политехнического университета, 2010. – Т. 316. – №5. – С.156–162.
5. Создание программного комплекса «АРМ технолога доменного цеха» на основе современных информационных технологий / В.В. Лавров, Н.А. Спирин, А.А. Бурыкин, А.В. Краснобаев. – Сталь, 2010, №1. – С. 17–21.
6. Spirin N. A., Lavrov V. V., Burykin A. A., Rybolovlev V. Yu., Krasnobaev A. V., Kosachenko I. E. Complex of model systems for supporting decisions made in managing blast-furnace smelting technology. Metallurgist, 2010, Vol. 54, No. 9-10, 566-569.

УДК 681.5:336.747.5

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТЕЖЕЙ

Козлов А.В., Перминов А.И.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

Электронная коммерция (англ. e-commerce, от electronic commerce) – термин, используемый для обозначения коммерческой активности в интернете. Обеспечивает возможность осуществления покупок, продаж, сервисного обслуживания, проведения маркетинговых мероприятий путём использования компьютерных сетей. Электронная коммерция в широком смысле это предпринимательская деятельность по осуществлению коммерческих операций с использованием электронных средств обмена данными.

Объектами электронной коммерции является то, на что направлена деятельность систем электронной коммерции. К ним можно отнести различные товары, услуги и информацию.

Оплата объектов электронной коммерции производится с использованием электронных денег.

Информационная система обработки электронных платежей (PGW) обеспечивает взаимодействие сервисов, предоставляющих продукты или услуги, оплачиваемые электронными деньгами, и систем электронных платежей, через которые происходит оплата.

С одной стороны, система предоставляет первым сервисам механизм выставления счетов на оплату. С другой стороны, она обеспечивает механизм обработки платежей, приходящих от платежных систем, оплачивающих выставленные счета.

В зависимости от конкретной схемы взаимодействия, система может «пробрасывать» счета на оплату от сервисов, предоставляющих продукты или услуги, самой платежной системе, либо создавать их «на лету» для тех сервисов, которые не реализуют механизм выставления счетов, и тут же оплачивать их.

По способу взаимодействия платежные системы, с которыми взаимодействует PGW, подразделяют на следующие:

1. *Активные системы.* Такие системы посылают запрос на совершение платежа каждый раз, когда клиент совершает оплату через эту систему.

2. *Пассивные системы.* Предоставляют программный интерфейс для получения информации о состоянии платежей. Такие системы не посылают запросов PGW, поэтому периодически их необходимо «опрашивать» о состоянии всех платежей. Такой механизм взаимодействия несет в себе ряд проблем. Например, при таком механизме взаимодействия, всегда существует значительная задержка между совершением оплаты и отражением этого факта в базе PGW, величина которой зависит от интервала опроса сервиса платежной системы. Также из-за использования такого механизма может возникнуть проблема высокой загруженности PGW: если количество платежей, информацию о которых нужно узнать, будет постоянно расти, со временем на получение ответа и обработку PGW будет тратить все больше и больше времени.

3. *Смешанные системы.* Такие системы наиболее распространены. Они посылают автоматические запросы при возникновении некоторых событий, например, совершение платежа клиентом, и предоставляют программный интерфейс для получения дополнительной информации или выполнения специфических действий.

Большинство из платежных систем уже предоставляют тот или иной способ интеграции на сайты, предоставляющие товары или услуги (процессинговый шлюз). Задачей PGW является реализация некоего унифицирующего механизма взаимодействия, который будет сводить к минимуму различия между этими системами. Процессинговый шлюз PGW должен предоставлять единый механизм интеграции любых поддерживаемых платежных систем и являться единым хранилищем всех проходящих платежных транзакций.

На рисунке 1 показана схема взаимодействия сервисов, предоставляющих товары или услуги с платежными системами через шлюз PGW. Ключевым моментом является то, что ни один из сервисов не взаимодействует с платежными системами напрямую; каждый сервис взаимодействует с любой из платежных систем через единый программный интерфейс PGW.

Рисунок 1 – Схема взаимодействия с платежными системами через PGW

Информационная система процессинга (обработки) электронных платежей должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Обладать высокой отказоустойчивостью;
2. Обладать достаточной скоростью для обработки постоянно нарастающего потока платежей (до нескольких сотен платежей в час);
3. Обеспечивать безопасность хранимой и передаваемой информации;
4. Позволять обрабатывать платежи, приходящие через защищенные и незащищенные каналы интернета;
5. Обладать достаточной гибкостью для увеличения числа и разнообразия поддерживаемых источников платежей;
6. Предоставлять гибкие программные интерфейсы для получения информации о платежах сторонними информационными системами.

Для реализации информационной системы необходимо выбрать программные и аппаратные средства, которые позволят системе удовлетворять всем поставленным требованиям.

В виду наличия требования обработки платежей, приходящих в систему через интернет, для реализации системы подходит модификация одного из самых распространенных скриптовых языков для веб-приложений – PHP. В качестве веб-сервера по параметрам быстродействия и надежности подходящим является сервер Nginx, настроенный на использование PHP по протоколу Fast CGI, предназначенному для быстрой обработки параллельных запросов, что в полной степени соответствует поставленным задачам системы.

Учитывая необходимость реализации гибкой системы с возможностью добавления механизмов обработки платежей из различных платежных систем в будущем, принято решение использовать библиотеку Zend

Framework для языка PHP, широко использующую объектно-ориентированный подход и облегчающую многие рутинные операции по обработке запросов и работе с базами данных.

В качестве сервера реляционных баз данных в виду достаточно скромных требований к объемам хранимых данных и относительной простоты структуры данных возможно использование MySQL или PostgreSQL, поддержка которых наиболее полно реализованная в PHP и Zend Framework.

Как сам язык PHP, так и библиотека Zend Framework предоставляют обширные средства работы с сертификатами, алгоритмами и протоколами шифрования, которые будут необходимы из-за необходимости обеспечения безопасности данных информационной системы.

Также библиотека предоставляет в распоряжение программиста удобные средства реализации сервисов и клиентов, работающих по принципу вызова удаленных процедур (RPC), которые будут использованы для обеспечения внешних программных интерфейсов взаимодействия с информационной системой.

Система реализована с применением модульной архитектуры, позволяющей расширять и модифицировать любой компонент системы независимо от других компонентов, тем самым повышая общую надежность системы. Разделение системы на модули так же позволяет оперативно добавлять новую функциональность при изменении или появлении новых требований.

Каждая платежная система, с которой взаимодействует PGW, представлена своим модулем, содержащим вспомогательные средства (объекты запроса/ответа, библиотеки специфичные для этой системы) и центр обработки запросов, связанных с данной системой. Типичный центр обработки запросов реализован как контроллер (модели MVC) Zend Framework.

Каждый модуль представляет собой слой переводящий объекты внешних систем в абстрактную форму, с которой может взаимодействовать ядро PGW, и переводящий внутренние объекты в объекты внешних систем с которым осуществляется взаимодействие.

Ядро системы предоставляет механизмы по хранению и обработке платежей и заявок на оплату услуг или товаров и включает подсистемы ведения журнала транзакций, взаимодействия с базой данных и перевода денежных транзакций в системы, предоставляющие услуги или товары.

В настоящее время разработанная система вводится в эксплуатацию.

УДК 669.162.28

РЕАЛИЗАЦИИ АСУ ТП ДОМЕННОЙ ПЛАВКОЙ НА ОАО «ММК»[1]

Рыболовлев В.Ю. , Краснобаев А.В.*, Спирин Н.А.***

*ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск
**ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

Современные тенденции по созданию и развитию АСУ ТП доменных печей характеризуются последовательным оснащением всех печей надежными средствами измерений и контроля, компьютерной техникой, дальнейшим применением передовых системотехнических решений. Анализ уровня автоматизации доменных печей металлургических предприятий России позволяет выделить в число лидеров ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Северсталь», ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат», ОАО «Западносибирский металлургический комбинат».

Схема автоматизированной системы доменной печи № 10 ОАО ММК представлена на рисунке 1.

Распределённая подсистема контроля и локального управления (РСКУ). АСУ ТП доменной печи является компонентой интегрированной информационной системой доменного цеха ОАО «ММК», решающей задачи контроля и управления технологическим процессом доменной плавки с целью повышения качества выпускаемой продукции. На каждой доменной печи функционирует несколько АСУ ТП: шихтоподачи; собственно печи; воздухонагревателей; БЗУ (на печах, оборудованных безконусным засыпным устройством фирмы Пауль Вьюрт).

В настоящее время, все автоматизированные системы управления технологическим процессом доменной плавки на печах доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» строятся на базе современных технических и программных средств. Широкое применение при проектировании АСУТП получили микропроцессорные контроллеры SIMATIC S7-400 фирмы SIEMENS. Конфигурация систем ввода-вывода SIMATIC S7-400 строится на основе сети PROFIBUS-DP и станций распределенного ввода-вывода ET200M, ET200S с интерфейсными модулями IM153-2 и IM151-1 соответственно.

Для визуализации, управления и контроля технологическим процессом используются автоматизированные рабочие места технологов печи, расположенные на главном посту управления доменной печи (пост А), автоматизированные рабочие места машиниста шихтоподачи (пост Б) и автомати-

[1] Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом Федерального агентства по науке и инновациям № 02.740.11.0152.

Рисунок 1 – Структурная схема комплекса программно-технических средств ДП №10

зированное рабочее место, расположенное в помещении АСУ поста Д (ПСУ воздухонагревателей), организованных на базе автоматизированных рабочих мест (АРМ) с применением SCADA системы фирмы SIEMENS WinCC. Для контроля работы технологического и электрического оборудования, фиксации аварийных ситуаций, диагностики технологического и электрического оборудования используются автоматизированные рабочие места, расположенные в электропомещении ЭП1. Для своевременного выявления отказов технических средств реализована система диагностики неисправностей, использующая все возможности, предоставляемые контроллерами. В системе управления выполнено несколько уровней доступа, разграниченных паролями: оператор, технолог, инженер сервисной службы. В зависимости от уровня доступа ограничены возможности по управлению и конфигурированию системы.

Для обмена данными между микропроцессорными контроллерами и автоматизированными рабочими местами используются сервера WinCC. Сервер баз данных служит для регистрации результатов решения функциональных задач.

Связь контроллеров, АРМ и серверов осуществляется по сети Ethernet через сетевые коммутаторы SIMATIC OSM. Структура управления является распределённой. Информация с органов управления поступает непосредственно в выносные блоки ET 200M, которые объединены между собой и центральным процессором в единую сеть. Для управления электроприводами электровибропитателей, грохотов, затворов и лотков дозаторов, грохотов и затворов центральных воронок, конвейеров подачи железорудного сырья в центральные воронки и конвейеров отсева агломелочи, шиберов предназначены устройства распределенного ввода-вывода SIMATIC ET 200S с силовыми модулями и системы управления и контроля SIMATIC SIMOCODEDP, расположенные в шкафах управления шихтоподачи.

Диспетчерский уровень доменной печи. Для реализации диспетчерского уровня на доменной печи №10 были разработаны и внедрены:

– система управления технологическим процессом с заменой вторичных приборов на компьютерную систему мониторинга технологических параметров доменной печи;

– система мониторинга параметров систем загрузки доменных печей;

– система мониторинга параметров работы воздухонагревателей.

Главными функциями этих SCADA-систем являются отображение технологического процесса в виде мнемосхем на экране монитора компьютера, сигнализация об аварийных ситуациях, обеспечение компьютерного общего управления процессом со стороны оператора-технолога, возможность создания архивов аварий, событий и поведения переменных процесса во времени (тренды), а также полное или выборочное хранение параметров процесса через заданные промежутки времени постоянно или по условию и др.

Компьютеры этого уровня решают следующие задачи:

– диспетчерского сбора, сигнализации управления и отображения всего технологического процесса или его отдельных подсистем (SCADA-системы), реализованные на операторских станциях;

– хранения технологической информации в базе данных;

– компьютерной поддержки принятия решений (комплекс математических моделей технологического процесса, интеллектуальная поддержка принятия решений), реализованной на расчетных станциях;

– интеграции локальной сети в корпоративную сеть всего предприятия (коммуникационный сервер).

SCADA-система WinCC является одной из лучших и надежных на сегодняшний день систем такого класса. Но, как любое программное обеспечение, данная SCADA-система не лишена недостатков, которые не позволяют использовать ее для построения полномасштабных распределенных систем АСУ ТП в рамках всего предприятия.

Так, для решения вопросов интеграции между подсистемами, реализованными на базе SCADA-системы WinCC и системами корпоративного уровня, пришлось приложить немало усилий, чтобы организовать просмотр технологических параметров с любого компьютера корпоративной сети и обеспечить возможность внедрения математических моделей технологических процессов, а также для обеспечения прозрачности механизма передачи и получения данных, а для потребителя универсального механизма получения информации была применена технология OPC.

На рисунке 2 представлена структурная схема, иллюстрирующая область применения технологии OPC при разработке интеграционного комплекса АСУТП ДП №9 и ДП №10 в корпоративную систему. Данная система основана на создании единого информационно-технологического и управляющего пространства, предоставляющего субъектам управления эффективное информационное окружение для принятия своевременных и качественных решений по управлению технологическим процессом и производством, а также интегрированную производственно-технологическую информацию на корпоративный уровень для руководства ОАО «ММК».

По уровням иерархии на ней можно выделить:

– уровень 1 – АСУТП агрегата;

– уровень 2 – уровень интеграции;

– уровень 3 – АСУП (MES система).

Взаимодействие уровня 1 и 2 происходит на уровне информационных потоков и представляет собой синхронную передачу между базами данных реального времени и OPC серверами.

Взаимодействие между 2 и 3 уровнем основано на интеграции OPC серверов с использованием синхронной (для оперативного мониторинга состояния агрегатов) и асинхронной (исторические данные) передаче данных в пакетном режиме, с целью учета и управления производством на MES-уровне. Как синхронный, так и асинхронный методы взаимодействия содер-

жат диагностическую информацию по состоянию информационного канала и качестве передаваемых данных.

Рисунок 2 – Применение технологии OPC при интеграции комплекса АСУТП ДП №9 и №10 в корпоративную систему комбината

АСУТП (уровень 1) обеспечивает сбор, предварительную обработку и передачу в АСУП цеха (уровень 3) данных, событий и параметров, характеризующих состояние объекта управления:

– параметры, на основе которых определяется состояние доменной печи (работа, останов, тихий ход, низкое давление);

– характер протекания технологического процесса, основные параметры технологического процесса, отклонения от заданных параметров;

– расходы энергоресурсов, сырья и материалов.

Уровень интеграции (уровень 2) используется как связующее звено между АСУТП (уровень 1) и АСУП цеха (уровень 3). Основное его предназначение - распределение собранной на первом уровне информации по различным потребителям, обеспечение записи собранной информации в базы данных на серверах сети предприятия, предоставление собранной информации заинтересованному персоналу в оперативном режиме.

Результатом данного подхода стала возможность предоставления информации не только о ходе технологического процесса, но и о ее истории

(тренда), начиная от технологического персонала доменного цеха и заканчивая диспетчером комбината и руководителем любого ранга в любой точке корпоративной сети комбината, а при наличии определённого доступа и в любой точке мира.

В системах поддержки принятия решений, основу которых составляет комплекс математических моделей, решающих различные задачи, пользователь имеет возможность получить недостающую ему информацию для принятия решения путем установления диалога с математической моделью. Остановимся только на некоторых из них.

Интегрированный пакет ***«Автоматизированное рабочее место газовщика доменной печи»***.

Пакет позволяет решать задачи ввода и редактирования информации:

– о выпуске чугуна и шлака – просмотреть и отредактировать информацию о постановках ковшей и миксеров под печь, а также информацию о выпуске жидких продуктов плавки;

– шихтоподаче – просмотреть и отредактировать информацию о количестве подач в смену;

– системах загрузки доменной печи – просмотреть и отредактировать информацию о системе загрузки, а также информацию о расходах железорудных материалов, кокса и флюсов в подаче.

Пакет обеспечивает расчет и просмотр следующих документов: химический состав загружаемых материалов и жидких продуктов плавки, технологические и технико-экономические показатели работы печи.

Интегрированный пакет ***«Автоматизированное рабочее место мастера доменной печи»***.

Пакет программы находится на стадии опытно-промышленного внедрения и должен решать задачи коррекции:

– массы кокса и флюсующих материалов в подаче при изменении соотношения железорудных компонентов, а также состава кокса;

– массы железорудных материалов и кокса в подаче для получения шлака заданных свойств;

– массы флюсующих материалов и кокса в подаче для получения заданного химического состава чугуна;

– массы кокса в подаче при изменении параметров комбинированного дутья (температуры и влажности дутья, расходов природного газа и технологического кислорода);

– прогноза изменения показателей доменной печи при изменении параметров плавки (параметров комбинированного дутья, характеристик загружаемого сырья и т.п.).

Инженерный уровень.

Пакет «Решение технологических задач доменной плавки» предназначен для технологического персонала доменного цеха. Он должен включать в себя три функционально связанных модуля, выполняющих:

– оценку базового (фактического) состояния доменного процесса;

– сопоставительный анализ работы доменных печей в различные периоды;

– прогноз изменения показателей доменной печи при изменении параметров плавки.

Пакет «Оптимизация работы доменного цеха».

Этот пакет находится на стадии разработки. Цель его работы – определять оптимальные значения параметров комбинированного дутья: расходы кислорода и природного газа на каждой из печей цеха при остановке отдельных печей цеха, изменении расходов природного газа, кислорода, состава и качества шихтовых материалов, поступающих в цех в различных технологических ситуациях работы цеха (максимум производства чугуна, минимум расхода кокса по цеху и т.п.). В модели учитываются ограничивающие и лимитирующие факторы по газо-гидродинамическим, тепломассообменным процессам на каждой из печей цеха, конъюнктура рынка.

Пакет «Расчет состава агломерата для получения заданных свойств шлака».

В настоящее время этот пакет прикладных вычислительных программ находится в разработке. В перспективе он должен осуществлять расчеты, связанные как с определением объема производимого агломерата на аглофабриках, так и состава этого агломерата, исходя из характеристик имеющихся привозных железорудных материалов при условии получения надлежащих свойств шлака (вязкости, температуры плавления, обессеривающей способности) и обеспечения рациональных технико-экономических показателей доменной плавки.

Подсистема координации и управления информационной системой. В настоящее время с использованием реляционной модели данных сформирована база данных доменного цеха, отражающая работу всех доменных печей по количеству и качеству выпускаемой продукции, количеству и качеству проплавляемых шихтовых материалов, потреблению энергоносителей, основным технологическим параметрам доменной плавки. Для хранения данных о работе доменной печи в этой сети на сервере базы данных установлена система управления базами данных Microsoft SQL Server. В качестве сервера базы данных используется Pentium 4 с оперативной памятью 4 Гбайт и емкостью жесткого диска 2 Тбайта. Это позволило практически полностью решить в доменном цехе проблемы хранения, контроля, защиты, ввода, редактирования и извлечения информации, а также формирования необходимых отчетных данных.

Создание локальных компьютерных сетей для отдельных печей по архитектуре клиент-сервер, объединение их в распределенную компьютерную сеть всего доменного цеха с выходом последней в корпоративную компьютерную сеть ОАО ММК обеспечили единое информационное пространство и взаимосвязь с другими цехами и службами комбината, а также подсистемами цехов и производств. В качестве операционной системы для локальных сетей доменного цеха и отдельных печей хорошо себя зарекомендо-

вала операционная система Microsoft Windows Server 2003, а в качестве физической передающей среды широко используются экранированная витая пара и волоконно-оптический кабель. Следует особо отметить, что в настоящее время даже в локальных, распределенных сетях и корпоративной сети на комбинате широко используется Intranet-технология, что позволило широко использовать надежные, удобные технологии и программное обеспечение глобальной сети Internet.

Проведенные мероприятия позволили организовать контроль и управление технологическим процессом на всех этапах – от складирования сырья в цехе подготовки агломерационной шихты до выплавки чугуна. Сегодня автоматизированная информационная система доменного цеха тесно связана с другими информационными системами, в первую очередь с теми, от которых зависит качество выплавляемого чугуна: цеха подготовки агломерационной шихты, агломерационного цеха, коксохимического производства, кислородно-конвертерного цеха, железнодорожного транспорта, кислородно-компрессорного производства и др.

Таким образом, задачи создания локальных систем автоматического управления, а также систем сбора и обработки информации, по крайней мере, на современных производствах в значительной степени решены. Однако в условиях изменяющихся свойств исходных шихтовых материалов, гибкого переналаживаемого производства с учетом сложности протекающих в доменных печах процессов технологическому персоналу часто весьма трудно обеспечивать нормальное, соответствующее технологическим инструкциям протекание доменного процесса. В настоящее время все более очевидной становится роль алгоритмов и компьютерных программ для решения комплекса технологических задач в области металлургии MES–уровня автоматизированных информационных систем крупнейших металлургических предприятий России.

УДК 669.162.28

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СОСТАВА ШИХТЫ И ВЫБОРА ДУТЬЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ЗАДУВКЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ[1]

Щипанов К.А., Спирин Н.А., Истомин А.С., Шумина Т.О.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

В настоящее время существует целый ряд вопросов, имеющих большое научное и практическое значение для доменного производства. К ним, в

[1] Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом Федерального агентства по науке и инновациям № 02.740.11.0152.

том числе, относятся вопросы задувки доменных печей. Анализ литературных источников показал, что данная область теоретически мало изучена.

Задувка доменной печи и последующий раздувочный период являются ответственными операциями, от правильного выполнения которых зависит нормальная работа печи, продолжительность ее службы, количество и длительность промежуточных ремонтов.

При задувке должны быть обеспечены следующие условия:

1. нормальное тепловое состояние печи;
2. хороший дренаж жидких продуктов в горне;
3. нормальные дутьевой и газодинамический режимы;
4. сохранность футеровки печи при заполнении задувочной шихтой;
5. безаварийность работы печи;
6. быстрый переход к нормальной работе с получением заданных составов шлака и чугуна;
7. достижение установленных технологических показателей плавки.

Таким образом, цель работы заключается в разработке математических моделей, алгоритмов и программного обеспечения для расчета оптимальных режимов (тепловой, шлаковый, дутьевой и газодинамический) работы доменной печи во время ее пуска.

В основу модели расчета положены следующие основные идеи:

1. разделение процессов шлакообразования и восстановления;
2. обеспечение нормальных режимов работы печи;
3. использование известных физических закономерностей, присущих доменной плавке;
4. использование принципа системного анализа (декомпозиция системы на отдельные блоки - подсистемы);
5. описание отдельных подсистем с использованием уравнений материального и теплового балансов, проверенных эмпирических соотношений, а также опыта задувок;
6. использование математического программирования для выбора оптимального состава шихты заполнения, дутьевых и газодинамических параметров.

Согласно методике расчета форсированной задувки доменной печи загружаемая в печь шихта делится на три части – нулевую, первую и вторую. Структура математической модели расчета шихты заполнения с регулируемым процессом шлакообразования и восстановления представлена на рисунке 1.

Регулирование высоты расположения первых порций шлакообразующих и железорудных материалов необходимо для улучшения тепловой подготовки горна печи, а также для обеспечения достаточной тепловой и восстановительной обработки железорудных материалов до их поступления в горн печи. В связи с этим требуется определить оптимальное расположение железорудных материалов и флюсов по высоте печи.

Рисунок 1 – Структура математической модели расчета шихты заполнения с регулируемым процессом шлакообразования и восстановления

Функциональные возможности разработанного программного обеспечения:

1. ведение справочников:
   1.1. конструктивные характеристики доменных печей;
   1.2. шлакообразующие материалы и флюсы;
   1.3. железорудные материалы;
   1.4. кокс;
2. настройка пакета на конкретные условия функционирования объекта расчета – доменной печи:
   2.1. выбор из справочника конструктивных параметров доменной печи;
   2.2. выбор из справочников компонентов шихты заполнения, которые будут участвовать в расчете – железорудные материалы, шлакообразующие материалы и флюсы, кокс;
   2.3. задание изменения во времени дутьевых параметров – давление, расход, температура и влажность дутья, расход природного газа и кислорода, давление колошникового газа;
   2.4. определение требований к параметрам жидких продуктов плавки – химический состав и температура чугуна, химический состав шлака, основность и вязкость шлака;
   2.5. настройка и выбор теплотехнических параметров (теплоемкости чугуна, шлака, кокса, материалов футеровки печи и др.);
   2.6. настройка и выбор прочих характеристик процесса (нормативно-справочная информация);
3. расчет состава шихты и свойств шлака при заданных пользователем расходах шлакообразующих материалов и флюсов;
4. расчет оптимального состава шихты заполнения и подбор дутьевых параметров с учетом ограничений на тепловой, шлаковый, газодинами-

ческий режимы и качество получаемого чугуна при любых заданных комбинациях входных параметров;

5. вывод результатов расчета в отчеты:

5.1. «компонентный состав шихты» – количество и объем кокса, железорудных, шлакообразующих и флюсующих материалов в нулевой, первой и второй шихте, в том числе суммарное количество и объем материалов;

5.2. «состав и свойства шлака» – химический состав, основность шлака, вязкость шлака при температурах 1400 и 1500°С;

5.3. «прогноз серы в чугуне» – равновесный и фактический коэффициенты распределения серы между чугуном и шлаком, прогнозное содержание серы в чугуне;

5.4. «газодинамика» – изменения во времени газодинамических характеристик процесса – перепад давления газа, степень уравновешивания шихты газом, теоретическая температура горения;

5.5. «расположение шихты в объеме печи» – в табличном и графическом виде показано расположение компонентов шихты заполнения в объеме печи;

6. представление результатов расчета в табличном и графическом виде;

7. возможность экспорта исходных данных и результатов расчета в электронные таблицы Excel;

8. сохранение в базе данных и повторное использование в дальнейшем различных вариантов расчета.

Основные выводы и результаты работы:

1. Разработаны математические модели расчета состава шихты заполнения, ее расположения по высоте печи, выбора дутьевых и газодинамических параметров. Основой этих моделей являются фундаментальные представления о процессах доменной плавки. Анализ имеющихся знаний в области теории и практики современного доменного процесса показал, что в рамках решаемых задач необходимо учитывать взаимное влияние подсистем теплового, шлакового, дутьевого и газодинамического режимов.

2. При разработке комплекса математических моделей и их настройке использовались современные принципы задувки доменных печей и опыт инженерно-технологического персонала передовых металлургических предприятий России. Это обусловлено тем, что процессы, происходящие в доменной печи, не поддаются полному математическому описанию на фундаментальном уровне, т.е. относятся к классу недостаточно структурированных систем.

3. Создано программное обеспечение «Расчет шихты заполнения», предназначенное для автоматизированного рабочего места инженерно-технологического персонала доменной печи.

4. Показано, что разработанное программное обеспечение позволяет оперативно решать оптимизационные задачи выбора состава шихты запол-

нения, дутьевого, газодинамического и шлакового режимов, исследовать влияние различных входных факторов на выбор состава шихты заполнения и дутьевых параметров.

УДК 378.014.61

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ВУЗАХ

Нисс Ю.С., Киселева Т.В.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Сегодня требования к образованию предъявляются с позиций гуманистической концепции, суть которой – в безоговорочном признании человека как высшей ценности. Проблема качества образования выходит на первый план в современной образовательной политике, потому что она связана с решением комплекса задач, направленных на развитие личности, ее подготовку к жизни в быстро меняющемся и противоречивом мире, личности с высокими нравственными устремлениями и мотивами к высокопрофессиональному труду.

Государственный контроль и надзор за качеством образования осуществляется государственными органами управления образованием в соответствии с их компетенцией, предусмотренной Законом Российской Федерации «Об образовании», Федеральным Законом «О высшем и послевузовском образовании», постановлениями Правительства, регламентирующими деятельность Минобрнауки, Федерального агентства по образованию и Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки.

Однако внешней оценки качества образования, как показывает мировой опыт, в настоящее время оказывается не достаточно. Нужно не только признание результатов (диплом, степень, квалификация); необходимо также доверие к процессу (обучение, практика, стажировка, проектирование). Необходимо воздействие и вмешательство во внутренние процессы вузов – в главную триаду обучения: «чему учат, как учат и кто учит» [1]. Требуются внутренние механизмы гарантии качества образования, обеспечиваемые самими вузами. Обеспечение таких гарантий сегодня связывают с наличием *системы менеджмента качества (СМК)*, построение которой возможно только при идентификации всех процессов своей деятельности в сравнении с «лучшими практиками», которые существуют в высшей школе.

Современные СМК образовательных учреждений, как правило, базируются на существующих документах и моделях систем качества образования [2-5].

Не смотря на то, что стандарты ИСО серии 9000 не являются обязательными, их применение при построении систем обеспечения качества в отечественных вузах стало массовым. Стандарты определяют основные про-

цессы организации, перечень необходимых документов СМК. Они применимы для предприятий любых отраслей и любых размеров, что, с одной стороны, является несомненным плюсом, а с другой – возникает *проблема адаптации стандарта* к конкретной организации. Приведем высказывание одного из разработчиков ГОСТ Р ИСО 9001-2008, к.э.н. И.И. Чайка [6]: «Достоинства и одновременно недостатки стандартов ИСО серии 9000 заключаются в их универсальности, а значит, в достаточно высокой общности требований. В этой связи применение этих стандартов, умения понимать каждое требование стандарта в контексте остальных требований и концепций стандарта в целом. В этом сложность применения стандартов ИСО серии 9000, которая не всегда преодолевается как в сознании, так и на практике».

Очевидно, что деятельность вузов специфична. Во-первых, если, следуя рекомендациям Международной организации по стандартизации, рассматривать деятельность вуза как процесс, то для образовательных учреждений характерна достаточно сложная структура потребления. С одной стороны, это внутренние потребители в лице обучаемых (которые являются активными участниками образовательной деятельности), с другой – внешние потребители в лице производственных, образовательных систем, государства и общества в целом.

Во-вторых, вуз как система декомпозируется на 4 составляющие:

– педагогическую систему;
– научно-исследовательскую систему;
– хозяйственную систему;
– социальную (или социокультурную) систему.

И в этом случае одних стандартов ИСО для построения модели менеджмента качества недостаточно.

Стандарты Европейской ассоциации гарантии качества в высшем образовании [3], разработанные в соответствии с решением Берлинской декларации, по значимости стоят в одном ряду с европейскими циклами (уровнями) обучения, системой зачетных единиц ECTS, приложениями к дипломам, так как они задают единый европейский формат к системам гарантии качества. В последнее время в Европе наметилась тенденция к вытеснению стандартов ИСО стандартами ENQA, особенно в сфере обеспечения качества инженерного образования.

Смысл этих стандартов не в том, чтобы дать рекомендации о том, как обеспечить ресурсами учебный процесс, а в том, как объективно и обоснованно оценить результаты образования и тем самым гарантировать его качественный уровень.

Существенным является акцент на гарантии качества, а не только на его обеспечении. И, кроме этого, на участие не только работодателей, но и студентов в управлении и оценке образовательного процесса. Особенностью является и требование к разработке вузами официальных (нормативных) положений по утверждению, периодической проверке и мониторингу реализуемых образовательных программ. А это уже имеет отношение и к содержа-

нию, и к методам обучения. При этом вуз должен гарантировать, что образовательные ресурсы для организации процесса обучения и системы поддержки студентов (обеспечения условий для формирования профессиональной и личностной компетенции) являются достаточными и соответствуют требованиям (целям) каждой реализуемой образовательной программы.

В отличие от стандартов ИСО стандарты [3] не регламентируют СМК. Один из основных их принципов заключается в том, что гарантия качества с целью отчетности (бюрократическая и информационная направленность деятельности вуза) должна быть полностью совместима с гарантией качества с целью совершенствования учебного процесса и улучшения СМК.

Для выполнения Россией требований Европейских документов в области качества образования, стимулирования работы образовательного учреждения (ОУ) по созданию и внедрению систем качества с 2000 г. в России проводится конкурс «Внутривузовские системы обеспечения качества подготовки специалистов». В период с 2000 по 2004 годы в таких конкурсах приняли участие 139 вузов Российской Федерации.

Задачей конкурса Минобразования РФ является *стимулирование вузов к проведению самооценки* своей деятельности по критериям, отражающим современные подходы к управлению вузами на основе качества и совершенствованию работы ОУ.

Самооценка деятельности ОУ в этом случае является способом сопоставить свою деятельность по обеспечению качества подготовки специалистов с идеальной моделью работы образовательного учреждения.

Модель конкурса [4] вписывается в существующие схемы и показатели аттестационной экспертизы, государственной аккредитации и самообследования вузов, расширяя и углубляя их в направлениях, которые влияют на качество подготовки специалистов. Кроме того, анализ отзывов университетов о проведенной самооценке на основе этой модели убеждает, что использование данной методики дает университетам инструмент для совершенствования основных механизмов улучшения управленческой, научнообразовательной и социальной деятельности вуза.

Однако, отвечая на вопрос, что нужно сделать, чтобы достигнуть высоких результатов, модель конкурса не дает ответа на вопрос о том, как это сделать.

Выбор формы структуризации качества вуза – важнейшая операция при формировании проекта системы управления качеством образования. Сегодня существует достаточно широкий спектр различных моделей в области менеджмента качества.

В 2003 году в рамках проведения научных исследований по научно-методической программе Министерства образования РФ в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» [5] был разработан прототип базовой модели. Разработка проведена на основе анализа отечественного и зарубежного опыта в этой области, включая Россию, страны Европы, США и Австралию. В частности, был проведен анализ показателей аттестационной экспертизы и государственной ак-

кредитации, требований стандартов ИСО серии 9000 и сравнительное исследование различных моделей систем менеджмента качества вузов, включая модель Европейского фонда по менеджменту качества и модель премии конкурса Министерства образования РФ «Внутривузовские системы обеспечения качества подготовки специалистов» [3, 4].

Оценка совершенства деятельности образовательного учреждения может производиться на основе качественного показателя уровней совершенства всех критериев и подкритериев модели совершенства на основе специально разработанных квалиметрических шкал. Такая оценка будет отвечать на вопрос, в какой мере и как используется потенциал вуза для достижения поставленных целей и обеспечения качества подготовки специалистов.

Как и модель упомянутого выше конкурса, эта модель в большей степени нацелена на оценку деятельности ОУ. Помимо этого, в отличие от предыдущей модели, предложенные ЛЭТИ базовая модель и критерии эффективности внутривузовской системы менеджмента качества способствуют стимулированию вузов к применению принципов Всеобщего менеджмента качества (TQM) и поиску постоянного улучшения качества предоставления образовательных и научно-исследовательских услуг.

Дальнейшее развитие базовая модель ЛЭТИ получила в работах Д.В. Пузанкова и С.А. Степанова [7], которые описали системную модель образовательного учреждения с точки зрения TQM в соответствии с рисунком 1.

Рисунок 1 – Системная модель образовательного учреждения с точки зрения TQM

Среди авторских моделей также хотелось бы отметить работу А.И. Субетто [8], который предлагает несколько вариантов структуризации качества вуза.

Система управления качеством, по мнению этого автора, должна организовываться *по принципу дуальности*, разделяясь на подсистемы управления функционированием и управления развитием. Система управления качеством функционирования вуза включает в себя «системы обеспечения качества» по категориям «качеств результатов». Система управления качеством развития вуза, в свою очередь, включает в себя формирование и применение опережающих стандартов качества образования, управления инновациями (нововведениями) и «систему улучшения качества во всех сферах деятельности вуза».

Структура системы управления качеством при этом формируется как система взаимодействующих структур: организационной (S_O); функциональной ($S_Ф$); технологической (S_{TX}); целевой ($S_Ц$); нормативной (S_N); документационной (S_D); информационной (S_H).

Совместимость структур осуществляется через анализ «матриц совместимости» соответствующих структур S (рисунок 2).

Рисунок 2 – Структура вузовской системы управления качеством по А.И. Субетто

Интересна модель, предлагаемая В.А. Полетаевым [9]. Он также, как и в [8], выделяет внутри управления качеством два субъекта – управление качеством развития и управление качеством функционирования. Отличием и, несомненно, достоинством этой модели является детальность и подробность рассмотрения аспектов деятельности вуза. Автор рассматривает внутри модели технологию управления качеством, разбивая ее на *морфологический* и *функциональный* аспекты.

Ведущими идеями концепции системы управления качеством образовательного процесса (ОП) автор этой модели видит следующее:

– реализация квалитативного подхода к организации и анализу ОП;

– системная интеграция элементов образовательной системы, переориентация их связей и отношений в интересах достижения уровня качества ОП, соответствующего современным требованиям и стандартам;

– достижение высокого уровня скоординированности в действиях участников ОП, оптимального распределения функций, прав и полномочий;

– организация управления качеством ОП по принципу единого технологического процесса с выделением присущих ему особенностей, алгоритма принятия и реализации решений, многообразием форм, способов, средств, видов управления качеством;

– обеспечение многообразных видов обменов, связей и отношений системы управления качеством ОП с внешней средой и другими системами одинакового с ней и более высокого порядка;

– наделение объекта управления (качество ОП) свойствами системного объекта.

Разработанная на основе вышеприведенных концептуальных положений модель системы управления качеством ОП представлена на рисунке 3.

Рисунок 3 – Модель системы управления качеством образовательного процесса В.А. Полетаева

Все рассмотренные документы и модели сходятся в одном – качеством образования необходимо управлять. Мерой качества деятельности вуза является степень гарантии того, что оказанная услуга, в том числе образовательная или научно-исследовательская, будет в точности соответствовать *требованиям потребителя*. Обеспечение же таких гарантий возможно только при наличии системы менеджмента качества, построенной при идентификации всех процессов деятельности ОУ в сравнении с «лучшими практиками», которые существуют в высшей школе.

Сегодня нет готового решения и однозначного ответа на вопрос о том, как должна выглядеть система управления качеством образовательной деятельности. Эта сфера относительно молода и динамично развивается, постоянно появляются новые предложения и рекомендации по построению модели СМК вуза (как от международных организаций, так и от отдельных ученых). Более того, все существующие стандарты на системы менеджмента качества являются добровольными, поэтому построение модели СМК сегодня остается прежде всего на усмотрение самого вуза.

При построении модели СМК вуза не стоит забывать об уникальности каждого вуза, его культурного и научно-исследовательского наследия, а также о потребностях местного рынка труда. Что бы ни было взято за основу системы менеджмента качества, любую модель и любой стандарт придется *адаптировать* к реалиям конкретного вуза и требованиям работодателя.

Список использованных источников

1. Лившиц В. А. Болонский процесс и проблемы инженерного образования в Израиле / В. А. Лившиц // Электронный научный семинар [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – ЭНС, 2004-2011. – Режим доступа: http://www.elektron2000.com – 09.02.11.
2. European Association for Quality Assurance in Higher Education (ENQA): Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area. – Helsinki: Pikseri Julkaisupalvelut, 2005. – 41 с.
3. ГОСТ Р ИСО 9001 – 2008. Система менеджмента качества. Требования. – Введ. 13.11.09. – М.: Стандартинформ, 2009. – 26 с.
4. Руководство для участников конкурса 2003 года «Внутривузовские системы обеспечения качества подготовки специалистов». М.: Министерство образования РФ, 2003. – 12 с.
5. Практические рекомендации по выбору типовой модели системы управления качеством образования для вузов и ссузов (проект). / Под ред. С.А. Степанова. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. – 101 с.
6. Чайка И. И. Беда, коль пироги начнет печи сапожник / И.И. Чайка // Методы оценки соответствия. – 2010. – №7. – С. 76 – 78.
7. Пузанков Д. В. Совершенствование деятельности образовательных учреждений с позиций менеджмента качества / Д.В. Пузанков, С. А. Степанов // Вопросы образования. – 2004. – № 4. – С. 42 – 63.

8. Система управления качеством в вузе (модель) / Материалы X Симпозиума «Квалиметрия в образовании: методология и практика». Под науч. ред. д.т.н. Н.А. Селезневой, д.э.н. И.А. Субетто. Изд. 2-е. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2003. – 25 с.
9. Полетаев В. А. Управление качеством подготовки специалистов: учеб. пособие / В.А. Полетаев. Кузбасс. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2002. – 90 с.

УДК 669.04

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ РЕГУЛИРУЕМОМ ОХЛАЖДЕНИИ ТЕЛ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ[1]

Старцева М.В., Некрасова Е.В.**, Липунов Ю.И.**, Ярошенко Ю.Г.**

* ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург
**ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»

Ускоренное охлаждение проката различной формы является одной из основных заключительных технологических операций производства, позволяющих получить требуемую структуру и высокий уровень механических свойств металла без добавления дорогостоящих легирующих элементов.

Для выбора соответствующего режима охлаждения и параметров устройства охлаждения, обеспечивающих выполнение требований к структуре и механическим свойствам, необходимо определить динамику изменения температурного поля по сечению обрабатываемого образца.

Задача численного моделирования при регулируемом охлаждении тел произвольной формы состоит в решении двумерного дифференциального уравнения теплопроводности Фурье:

$$c(t)\rho\frac{\partial t}{\partial \tau}=\left[\frac{\partial}{\partial x}\lambda(t)\frac{\partial t}{\partial x}\right]+\left[\frac{\partial}{\partial y}\lambda(t)\frac{\partial t}{\partial y}\right], \qquad (1)$$

где t – температура;
c, ρ, λ – коэффициенты удельной теплоемкости, массовой плотности и теплопроводности для данной марки сплава;
x, y – координаты в поперечном сечении изделия проката.

В случае охлаждения проката на воздухе граничные и начальные условия имеют вид:

[1] Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом Федерального агентства по науке и инновациям № 02.740.11.0152.

$$t(\tau_0) = t_{нач} \tag{2}$$

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha\left(t_{пов} - t_{окр.ср.}\right) + C_{пр}\left[\left(\frac{T_{пов}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{окр.ср.}}{100}\right)^4\right] \tag{3}$$

где α – конвективный коэффициент теплоотдачи на поверхности проката;

$C_{пр}$ – приведённый коэффициент излучения, Вт/м^{2}К^4;

$T_{пов}$ – температура поверхности металла, К;

$T_{окр.ср.}$ – температура окружающей среды, К.

$$C_{пр} = \frac{C_0 \cdot \varepsilon_м \cdot \varphi_{i-j}}{1-(1-\varepsilon_м)\cdot \varphi_{i-j}} \tag{4}$$

где C_0 – коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, 5,67 Вт/м^2·град^4;

$\varepsilon_м$ – степень черноты металла, $\varepsilon_м \approx 0{,}8 \div 0{,}85$;

φ_{i-j} – угловой коэффициент излучения с i-й поверхности на j-ю в случае, если поверхность имеет сложный профиль, и есть переизлучение элементов изделия друг на друга.

В случае ускоренного водяного охлаждения граничные условия принимают следующий вид:

$$\lambda(t)\frac{\partial t}{\partial n} = \begin{cases} q_i \ при \quad t \geq t_{нас} \\ \alpha_i (t_п - t_{о.с}) \ при \ t \leq t_{нас} \end{cases} \tag{5}$$

где q_i – плотность теплового потока, МВт/м^2;

$t_п$ – температура поверхности образца, ^{o}С;

$t_{о.с}$ – температура окружающей среды, ^{o}С;

$t_{нас}$ – температура насыщения, ^{o}С;

α_i – коэффициент теплоотдачи при снижении температуры поверхности меньше температуры насыщения, Вт/м^2·К;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К.

Зависимость теплофизических свойств от температуры при расчёте может быть учтена как по зависимостям, представленным в [1], так и по выражениям, которые приводятся в [2]:

– коэффициент теплопроводности:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + a_1\left(\frac{t}{100}\right) - \frac{a_2}{ch\left(a_3\left[\frac{t-t_0}{100}\right]\right)} \tag{6}$$

– удельная теплоёмкость:

$$c_m(t) = c_{m_0} + a_1\left(\frac{t}{100}\right)^n + \frac{a_2}{ch\left(a_3\left[\frac{t-t_0}{100}\right]\right)} \qquad (7)$$

где λ_0, a_1, a_2, a_3, n и c_{m_0} – постоянные для различных марок сталей, значения приводятся в [2];

t – текущее значение температуры, ^{o}C;

t_0 – фиксированное значение температуры для данной марки стали, ^{o}C [2].

Одной из особенностей решения уравнения (1) является необходимость учёта сложной формы прокатного профиля, как, например, рельса. При задании граничных условий (3) охлаждения на воздухе рельсового профиля требуется определение угловых коэффициентов $\varphi_{i\text{-}j}$ разноориентированных участков. Для простых и характерных случаев, таких как взаимно перпендикулярные поверхности, решения для $\varphi_{i\text{-}j}$ найдены и приводятся в [3]. Но особенности профиля рельса не позволяют использовать эти простые решения для расчёта, поэтому в данном случае возникает необходимость в экспериментальных данных температуры поверхности разных частей рельса, используя которые, можно уточнить рассчитанные по аналитическим зависимостям значения средних угловых коэффициентов облучения $\varphi_{i\text{-}j}$ для сложного профиля.

В Центре новых систем охлаждения и технологий термоупрочнения ОАО «ВНИИМТ» разработана и успешно реализуется программа стендовых исследований по контролируемому охлаждению проката сложного профиля. Исследования проводятся на опытно-промышленном стенде, который предназначен для изучения процессов регулируемого охлаждения нагретых тел при различных условиях (струйное водяное, водовоздушное, воздушное), исследования динамики изменения температурных полей при регулируемом охлаждении, определения параметров теплоотдачи и выбора технологических режимов термоупрочнения. В Центре были проведены серии экспериментов по регулируемому охлаждению проката различной формы (толстый лист, рельс, буровая штанга, болт, шпилька и т.д.). В каждом эксперименте производился нагрев образца в печи до заданной температуры и термообработка в устройстве охлаждения (УО). Для измерения температуры образца в процессе нагрева и охлаждения на его поверхность, а также в тело образца устанавливались термопары. Запись показаний термопар производилась с помощью измерительного комплекса, включающего программируемый логический контроллер, позволяющий преобразовать выходной аналоговый сигнал с термопар в цифровую форму.

Полученные экспериментальные данные использованы для адаптации к конкретным условиям термообработки разработанной во ВНИИМТ мате-

матической модели теплообмена тел произвольной формы при различных начальных и граничных условиях. В расчётную модель ВНИИМТ заложено решение уравнения теплопроводности (1) методом конечных элементов (МКЭ) при учёте соответствующих краевых, начальных и геометрических условий, а также зависимости теплофизических характеристик от температуры (6), (7). Реализация МКЭ состояла в том, что профиль проката разбивался на конечное число геометрических элементов треугольной формы. В пределах каждого элемента решалось уравнение теплопроводности, и найденное значение температуры выводилось в узловой точке. Таким образом, задача сводилась к решению системы алгебраических уравнений в узловых точках и аппроксимации дискретных значений температуры в отдельных точках-узлах. МКЭ имеет свои преимущества, позволяющие с успехом применять его в реальных задачах особенно для тел произвольной формы, что важно, если прокат имеет сложный профиль. Кроме того, сетку можно сделать более редкой там, где не требуется высокая точность расчётов, что сокращает время расчётного процесса. Модель, по которой осуществлялся расчёт, реализована в виде соответствующего программного обеспечения (ПО).

Используя данные стендового эксперимента по охлаждению рельса в стопе на воздухе и результаты математического моделирования, были получены значения угловых коэффициентов излучения для отдельных участков рельса, которые в дальнейшем будут использованы при анализе процессов охлаждения. Сопоставление расчётных и экспериментальных кривых охлаждения шейки рельса на воздухе приведены на рисунке 1.

Рисунок 1 – Сравнение расчётных и экспериментальных данных по изменению температуры шейка рельса при его охлаждении на воздухе в стопе

Из анализа данных рисунка 1 следует практически полное совпадение экспериментальных и расчётных данных по охлаждению шейки рельса, что свидетельствует о хорошей адаптации математической модели и о достоверности полученных результатов.

На Нижнетагильском металлургическом комбинате (НТМК) в 2010 году были произведены замеры температуры шейки рельса при охлаждении его на рольганге и в стопе на холодильнике. Сопоставление расчётных и экспериментальных данных НТМК приведено на рисунке 2. Совпадение данных на графике 2 подтверждает адаптацию модели и применимость полученных в стендовых условиях угловых коэффициентов к промышленным условиям (укладка рельсов при транспортировке на холодильнике аналогична укладке на стенде).

Рисунок 2 – Изменение температуры во времени при охлаждении шейки рельса в стопе (промышленный эксперимент)

Разработанная математическая модель позволяет также получать расчётные значения плотности тепловых потоков для проката различной формы и сортамента. Стендовые исследования по регулируемому охлаждению стальной пластины проводились в ОАО «ВНИИМТ» в 2009 году. Охлаждение пластины в установке производилось плоскоструйными форсунками с двух сторон. В ходе экспериментов были получены зависимости температуры её центра и поверхности от времени. Для построения зависимости тепловых потоков от времени была определена скорость изменения температуры по термопаре, заделанной в центре образца, а по максимальной скорости изменения температуры – максимальный тепловой поток. Сведения о тепловых потоках необходимы для отработки конструкции и режимов работы УО. В

данном случае расчёт производился по одномерному уравнению теплопроводности, так как размеры пластины позволяют считать её неограниченной при соответствующих граничных условиях (уравнение (5)).

Расчётные и экспериментальные зависимости температуры образца и зависимости плотности теплового потока от времени представлены на рисунке 3. Данные по охлаждению центра образца практически совпали, что свидетельствует о верно определённых тепловых потоках. Плотность теплового потока во время охлаждения остаётся приблизительно постоянной, что свидетельствует о постоянном суммарном значении конвективной и лучистой составляющих теплообмена.

1-7 – номера форсунок; н, к – начало и конец зон регулируемого охлаждения соответственно

- показания термопары центр образца (опыт)
- расчётная температура центра образца
- показания термопары поверхность образца (опыт)
- расчитанное значение плотности теплового потока, МВт/м2

Рисунок 3 - Зависимость температуры и плотности теплового потока от времени при охлаждении стальной пластины в системе форсунок

Полученные в эксперименте и рассчитанные по адаптированной математической модели данные по изменению температуры изделия во времени позволяют спрогнозировать тип структуры, а значит и механические свойства для разных режимов охлаждения. Для этого следует использовать термокинетическую диаграмму для данной марки сплава.

Обоснованный выбор технологии термоупрочнения проката любой формы сложности может быть осуществлён по изменению температуры сечения профиля на основе результатов численного моделирования.

Список использованных источников

1. Теплофизические свойства веществ/Справочник под ред. Варгафтика Н.Б.// Госэнергоиздат: Москва-Ленинград. 1956, 367 с.;
2. Маковский А.В. Эмпирические формулы для выражения температурной зависимости теплофизических свойств сталей //Сталь. 1972. №1. с. 87-89.
3. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. - 432 с.

УДК 681.3

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСЧЕТОВ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ ИНТЕРНЕТ УСЛУГ

Васильев Н.Н., Падалко А.Г.

СибГИУ, г. Новокузнецк

В современном мире каждый человек, каждая компания уже не представляет свою жизнь и деятельность без использования сети Интернет. Электронная почта, мгновенный обмен сообщениями и файлами, IP-телефония, актуальные новости, музыка, видео, блог – это малая часть того, что может позволить сеть Интернет. Главное, что весь этот объем информации становится доступным в считанные секунды, а значит, экономится время, повышается эффективность. И, конечно, такой удобный инструмент полезно иметь не только на работе, но и у себя дома.

Для любого человека, пользующегося услугами Интернет провайдера, целесообразно вести учет потребляемых сервисов, чтобы контролировать провайдера и понимать, на что расходуются деньги за связь.

В то же время практически любой провайдер подключен к другому провайдеру, для которого он выступает как клиент и платит за трафик. Поэтому каждому оператору связи необходимо не только учитывать трафик, расходуемый в сети, но и вести подсчет трафика, пришедшего в сеть от других провайдеров-партнеров.

Автоматизированная система расчетов с пользователями за телематические услуги или информационная биллинговая система – важнейшая часть бизнес – инструментов современного оператора. Без нее невозможно справиться с учетом предоставляемых сервисов, число которых увеличивается с каждым годом. С помощью этого инструмента можно повысить эффективность бизнес-процессов и обеспечить прозрачность взаиморасчетов с абонентом.

Важным показателем в работе организации является время выполнения проекта. Существует множество причин, которые влияют на этот показатель. Автоматизированная система расчетов «IPSoft Billing» имеет большой недостаток: ежемесячная смена тарифа не происходит автоматически, специалист вынужден самостоятельно производить эту операцию с 00:00 первого числа месяца ориентировочно до 07:00.

Для решения вышеуказанной проблемы системы «IPSoft Billing» самым оптимальным вариантом является - ее модернизация.

Целью работы является автоматизация процесса смены тарифного плана путем написания программы, которая обеспечит сокращение времени, затраченного на смену тарифа, и облегчит работу специалиста.

В настоящее время на российском телекоммуникационном рынке предлагается огромное число разнообразных информационных биллинговых систем. Очень часто операторы сами разрабатывают автоматизированные системы расчетов для своих сетей, а затем продают их как самостоятельный продукт. Данный подход имеет право на существование, так как в таком случае получается, что изначально информационная биллинговая система создается под бизнес-модель конкретного оператора, под вполне определенный круг задач. Таким образом, она полностью удовлетворяет потребностям Интернет провайдера, силами которого была разработана система.

Биллинговые системы – автоматизированные системы расчетов с абонентами операторов связи различных типов (мобильной, телефонной, передачи данных и т.п.)

Системы, вычисляющие стоимость услуг связи для каждого клиента и хранящие информацию обо всех тарифах и прочих стоимостных характеристиках, которые используются телекоммуникационными операторами для выставления счетов абонентам и взаиморасчетов с другими поставщиками услуг, носят название биллинговых, а цикл выполняемых операций сокращенно именуется биллингом.

Схема организации биллинга достаточно проста: информация о соединениях и их продолжительности записывается коммутатором и после предварительной обработки передается в расчетную систему. Ее программы «знают» все тарифы для возможных в конкретной телекоммуникационной сети линий связи, «идентифицируют» принадлежность вызовов и выполняют необходимые расчеты, формируя счета абонентов.

Очевидно, что в такой системе должны храниться не только нормативы, тарифы и информация об услугах, но и данные о клиентах, заключенных контрактах с абонентами и сторонними поставщиками услуг связи (если сеть данного оператора связана с другими), а также о стоимости передачи информации по разным каналам и направлениям. Кроме того, любая расчетная система немыслима без «истории» платежей и выставленных счетов всех клиентов, поскольку только эти сведения позволяют организовать контроль над оплатой и автоматизировать так называемую активацию/деактивацию абонентов.

Любая биллинговая система – это не «коробочный продукт»: каждая из них создается и настраивается на бизнес-процесс определенного оператора связи, имеет собственный набор функций, соответствующий технологическому циклу предоставления услуг, и может работать с конкретным сетевым оборудованием, поставляющим ей информацию о вызовах и соединениях. Тем не менее, существует «стандартный» набор функций, поддерживаемых почти всеми биллинговыми системами. В него входят операции, выполняемые на этапе предварительной обработки и анализа исходной информации, операции управления сетевым оборудованием, основные функции обычного приложения СУБД, а нередко – и функции электронной почты для автоматического информирования абонентов.

Современные расчетные системы создаются как приложения с модульной структурой, каждый элемент которой обеспечивает реализацию конкретного участка технологической цепочки обслуживания клиента. Это позволяет развивать, наращивать или изменять функции системы, поддерживающие любой этап процесса обслуживания, независимо от остальных.

Автоматизированная система расчетов «IPSoft Billing» обладает способностью интеграции с любым типом телекоммуникационного оборудования, используемого для предоставления абонентам услуг передачи данных, телематических служб и службы передачи речевой информации в режиме передачи пакетов.

Система обеспечивает:

– регистрацию новых провайдеров-партнеров (практически любой провайдер подключен к другому провайдеру, для которого он выступает как клиент и платит за трафик.);

– гибкую систему ведения прайс-листов для взаиморасчетов между провайдерами (формирования прайс-листов, по которым провайдер терминирует вызовы своих партнеров, а партнеры терминируют его вызовы);

– регистрацию в системе новых телефонных серверов, с которых могут поступать вызовы и на которые можно терминировать свои вызовы;

– получение отчета о вызовах, терминированных провайдерами-партнерами, и о вызовах, терминированных основным провайдером.

Система построена в соответствии со следующими основными принципами:

1. гибкая система тарификации клиента в режиме реального времени;
2. простая и упорядоченная система взаиморасчетов с клиентами и поставщиками;
3. надежная система, обеспечивающая целостность и сохранность данных;
4. безопасная система биллинга, снабженная различными уровнями доступа;
5. надежная система, обеспечивающая целостность и сохранность данных;

6. наращиваемость (возможность поэтапного наращивания функциональных и информационных возможностей системы);

7. доступность (возможна одновременная работа с информацией всех пользователей в on-line режиме);

8. неограниченная гибкость и масштабируемость.

Система «IPSoft Billing» представляет собой неоднородную, т.е. допускающую применение разных типов ЭВМ, распределенную систему, в состав которой входят следующие виды технических средств:

1. сервер базы данных;
2. рабочие места пользователей;
3. внутренняя система телекоммуникаций, обеспечивающая связь рабочих мест пользователей с сервером базы данных; внешняя система телекоммуникаций, обеспечивающая взаимодействие с внешними (не входящими в состав автоматизированной системы расчетов) системами и связь удаленных рабочих мест с сервером базы данных.

Внутренняя сеть телекоммуникаций включает локальную вычислительную сеть, построенную на базе волоконно-оптических линий, витой пары или их комбинации. Также во внутреннюю сеть телекоммуникаций входят мультипротокольные маршрутизаторы, использующиеся для связи базы данных с удаленными пользователями в разных сетевых протоколах.

Внешняя сеть телекоммуникаций в зависимости от объема и топологии может включать каналообразующую аппаратуру для работы по линиям связи (модемы) и средства распределения трафика (каскады статистических мультиплексоров, удаленных сетевых концентраторов и транзитных коммутирующих узлов сети).

Технические средства системы обеспечивают возможность двухстороннего обмена данными с удаленными рабочими местами по телефонным каналам с учетом разной скорости обмена данными с различными рабочими местами.

Схема технического обеспечения Интернет провайдера представлена на рисунке 1.

Программное обеспечение (ПО) системы «IPSoft Billing» может быть разделено на базовое (покупное лицензионное ПО) и прикладное.

Прикладное ПО системы разрабатывалось с учетом особенностей автоматизируемых технологических процессов и специфики применяемых технических средств. Прикладное ПО разработано на языке Object Pascal с использованием системы визуального объектно-ориентированного программирования Delphi, версии 7.

Тарифный план устанавливает, по какому прейскуранту будут назначаться цены на услуги, оказанные данному клиенту.

Для каждого типа услуги (VoIP, DialUp, учет трафика, периодические услуги) тарифный план стоимости имеет собственную структуру и набор параметров. Тарифный план выбирается на этапе создания услуги из набора доступных в системе тарифных планов для данного типа услуги. Допускает-

ся создавать неограниченное количество тарифных планов стоимости каждого типа.

Рисунок 1 – Схема технического обеспечения Интернет провайдера

Существующая система позволяет переключать тарифные планы только в начале расчетного периода и невозможно отследить как в отношении того или иного абонента поведет себя программа после смены тарифа.

В связи с развитием интернет - технологий расширяются и тарифные планы, абонент может выбрать любой тарифный план исходя из своих потребностей и материального положения.

Так как тарифные планы периодически изменяются, а количество абонентов, желающих пользоваться, по их мнению «более выгодным» тарифом постоянно растет, соответственно все большее число абонентов заполняют заявления на смену тарифного плана.

Для того чтобы осуществить перевод на новые тарифные планы специалист в данной области выполняет последовательные действия, аналогично повторяющиеся для каждого абонента. Все действия выполняются специалистом 1-го числа ежемесячно с 00:00 и продолжаются ориентировочно до 07:00.

Для получения информации об абоненте, написавшем заявление на смену тарифного плана необходимо перейти в пункт «Клиенты». Для поиска абонента можно воспользоваться двумя наиболее распространенными способами:

– в графе «Наименование» ввести Фамилию абонента;

– в графе «Номер карты/логин» ввести индивидуальный идентификационный номер, который присваивается абоненту при заключении договора на предоставление услуг интернет.

Главное окно программы представлено на рисунке 2.

Рисунок 2 – Главное окно программы

В связи с отсутствием технической поддержки со стороны корпорации IPSoft необходимо вести собственные разработки по поддержанию корректной работы биллинговой системы, и создания «заплаток» своими силами.

В данной системе имеется ряд недостатков по направлению смены тарифного плана:

– отсутствует возможность заведения общего списка пользователей с целью смены тарифного плана, т.е. в текущей реализации необходимо индивидуально у каждого абонента производить смену тарифного плана и следить за правильной установкой профиля авторизации. Все это необходимо сделать за очень короткий промежуток времени между сменой расчетного периода (в основном: конец/начало месяца);

– затраты времени на анализ корректного снятия абонентской платы;

– отсутствие «истории» по смене тарифного плана пользователей.

При решении задачи учитываются следующие аспекты модернизации автоматизированной информационной системы расчетов.

Дано:

– система – прототип: автоматизированная система расчетов, действующая на предприятии – «IPSoft Billing»;

– база данных компании, написанная на языке MySQL.

Критерий: среднее время, затраченное на перевод 1 абонента на другие тарифные планы.

Требуется: модернизировать автоматизированную систему расчетов, чтобы минимизировать среднее время, затраченное на перевод 1 абонента на другие тарифные планы.

Окно смены тарифа представлено на рисунке 3.

Рисунок 3 – Окно смены тарифа

Меню состоит из 3 разделов:

– Смена тарифа. Вызывает окно выборки пользователей, которым необходима смена тарифного плана за определенную дату.

– Справочник. Вызывает окно справочника соответствия тарифного плана профилю авторизации.

– Выход. Завершение работы программы.

Учитывая тот факт, что заявления группируются по названию нового тарифного плана, необходимо запомнить этот тарифный план, для того чтобы заново не делать выборку из раскрывающегося списка. Для этого установлен флажок «Запомнить тарифный план». После выборки нового тарифного плана показывается, есть ли привязка профиля авторизации к данному тарифному плану и какой получится остаток на счете после снятия данной абонентской платы. Далее специалисту необходимо нажать кнопку «Сохранить». После этого информация о данном пользователе появляется во вкладке «Список». Данная вкладка состоит из кнопки «Получить в Excel» и таблицы со списком пользователей по смене тарифа за определенное число.

В настоящий момент чтобы поднять заявление с целью пересмотрения в ситуации, когда абонент указал желаемый тарифный план ошибочно, либо по вине специалиста абоненту был установлен неверный тарифный план, необходимо произвести поиск из нескольких сотен бланков, а этот процесс отнимает немало времени. После модернизации биллинговой системы можно получить список заявлений уже не в бумажном виде, а в электронном, что более удобно в подготовке отчетов.

В момент создания начала нового расчетного периода, когда необходимо поменять тарифный план (первого числа каждого месяца с 00-00) по заданию (JOB), установленному в СУБД MS SQL выполняется хранимая процедура, которая производит смену тарифного плана с установкой профиля авторизации и запоминания остатка на счете до смены тарифного плана и после, с обязательной фиксацией всех шагов выполнения в журнале.

УДК 004(075.32)

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Корабельников И.А., Киселева Т.В.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Введение

Руководство крупных компаний испытывает потребность в достоверной информации о различных аспектах бизнеса компании в целях поддержки принятия решений. От этого зависит качество управления компанией, возможность эффективного планирования ее деятельности, выживание в условиях жесткой конкурентной борьбы. При этом критически важными являются наглядность форм представления информации, быстрота получения новых видов отчетности, возможность анализа текущих и исторических данных. Системы, предоставляющие такие возможности, называются Системами Поддержки Принятия Решений (СППР). Они с успехом применяются в самых разных отраслях: телекоммуникациях, финансовой сфере, торговле, промышленности, медицине и многих других.

СППР состоят из двух компонент: хранилища данных и аналитических средств. Хранилище данных предоставляет единую среду хранения корпоративных данных, организованных в структурах, оптимизированных для выполнения аналитических операций. Аналитические средства позволяют конечному пользователю, не имеющему специальных знаний в области информационных технологий, осуществлять навигацию и представление данных в терминах предметной области. Для пользователей различной квалификации, СППР располагают различными типами интерфейсов доступа к своим сервисам [1].

1. СППР- хранилище данных

Специфика работы аналитических систем делает практически невозможным их прямое использование на оперативных данных. Это объясняется различными причинами, в том числе разрозненностью данных, хранением их в форматах различных СУБД и в разных «уголках» корпоративной сети, но, что наиболее важно, неприменимостью структур данных оперативных систем для выполнения задач анализа. Для этих целей создается специализированная среда хранения данных, называемая хранилищем данных (Data Warehouse) [2].

Хранилище данных представляет собой банк данных определенной структуры, содержащий информацию о производственном процессе компании в историческом контексте. Главное назначение хранилища - обеспечивать быстрое выполнение произвольных аналитических запросов.

Перечислим главные преимущества хранилищ данных:

– Единый источник информации: компания получает выверенную единую информационную среду, на которой будут строиться все справочно-аналитические приложения в той предметной области, по которой построено хранилище. Эта среда будет обладать единым интерфейсом, унифицированными структурами хранения, общими справочниками и другими корпоративными стандартами, что облегчает создание и поддержку аналитических систем. Также, при проектировании информационного хранилища данных особое внимание уделяют достоверности информации, которая попадает в хранилище.

Трехлетнее изучение опыта 62 организаций, проведенное International Data Corporation (IDC) показало, что эти организации в среднем получили 400-процентный возврат своих инвестиций в СППР-системы. Перечислим главные преимущества хранилищ данных:

– Производительность: физические структуры хранилища данных специальным образом оптимизированы для выполнения абсолютно произвольных выборок, что позволяет строить действительно быстрые системы запросов.

– Быстрота разработки: специфическая логическая организация хранилища и существующее специализированное ПО позволяют создавать аналитические системы с минимальными затратами на программирование.

– Интегрированность: интеграция данных из разных источников уже сделана, поэтому не надо каждый раз производить соединение данных для запросов требующих информацию из нескольких источников. Под интеграцией понимается не только совместное физическое хранение данных, но и их предметное, согласованное объединение; очистку и выверку при их формировании; соблюдение технологических особенностей и т.д.

– Историчность и стабильность: OLTP-системы оперируют с актуальными данными, срок применения и хранения которых обычно не превышает величины текущего бизнес-периода (полугода-год), в то время как информационное хранилище данных нацелено на долговременное хранение информации в течении 10-15 лет. Стабильность означает, что фактическая информация в хранилище данных не обновляется и не удаляется, а только специальным образом адаптируется к изменениям бизнес-атрибутов. Таким образом, появляется возможность осуществлять исторический анализ информации.

– Независимость: выделенность информационного хранилища существенно снижает нагрузку на OLTP-системы со стороны аналитических приложений, тем самым производительность существующих систем не ухудшается, а на практике происходит уменьшение времени отклика и улучшение доступности систем.

– Наряду с большими корпоративными хранилищами данных широкое применение находят также витрины данных (Data Mart). Под витриной данных понимается небольшое специализированное хранилище для некоторой узкой предметной области, ориентированное на хранение данных, свя-

занных одной бизнес-тематикой. Проект по созданию витрины данных требует меньших вложений и выполняется в очень короткие сроки. Таких витрин данных может быть несколько, скажем витрина данных по доходам для бухгалтерии компании и витрина данных по клиентам для маркетингового отдела компании [3].

2. Аналитические системы

Аналитические системы СППР позволяют решать три основных задачи: ведение отчётности, анализ информации в реальном времени (OLAP) и интеллектуальный анализ данных.

Сервис отчётности СППР помогает организации справиться с созданием всевозможных информационных отчетов, справок, документов, сводных ведомостей и пр., особенно когда число выпускаемых отчетов велико и формы отчётов часто меняются. Средства СППР, автоматизируя выпуск отчётов, позволяют перевести их хранение в электронный вид и распространять по корпоративной сети между служащими компании.

OLAP (On-Line Analitycal Processing) - сервис представляет собой инструмент для анализа больших объемов данных в режиме реального времени. Взаимодействуя с OLAP-системой, пользователь сможет осуществлять гибкий просмотр информации, получать произвольные срезы данных, и выполнять аналитические операции детализации, свертки, сквозного распределения, сравнения во времени. Вся работа с OLAP-системой происходит в терминах предметной области.

OLAP-системы являются частью более общего понятия Business Intelligence, которое включает в себя помимо традиционного OLAP-сервиса средства организации совместного использования документов, возникающих в процессе работы пользователей хранилища. Технология Business Intelligence обеспечивает электронный обмен отчетными документами, разграничение прав пользователей, доступ к аналитической информации из Интернет и Интранет [2].

При помощи средств добычи данных можно проводить глубокие исследования данных. Эти исследования включают в себя: поиск зависимостей между данными (напр., «Верно ли, что рост продаж продукта А обусловлен ростом продаж продукта В ?»); выявление устойчивых бизнес-групп (напр. «Какие группы клиентов, близких по поведенческим и другим характеристикам, можно выделить? Какие характеристики клиентов при этом оказывают наибольшее влияние на классификацию?»); прогнозирование поведения бизнес-показателей (напр. «Какой объем перевозок ожидается в следующем месяце?»); оценка влияния решений на бизнес компании (напр. «Как изменится спрос на товар А среди группы потребителей Б, если снизить цену на товар С ?»); поиск аномалий (напр. «С какими сегментами клиентской базы связаны наиболее высокие риски?»).

3. Типы СППР

В зависимости от функционального наполнения интерфейса системы выделяют два основных типа СППР: EIS и DSS.

EIS (Execution Information System) – информационные системы руководства предприятия. Эти системы ориентированы на неподготовленных пользователей, имеют упрощенный интерфейс, базовый набор предлагаемых возможностей, фиксированные формы представления информации. EIS-системы рисуют общую наглядную картину текущего состояния бизнес-показателей работы компании и тенденции их развития, с возможностью углубления рассматриваемой информации до уровня крупных объектов компании. EIS–системы – та реальная отдача, которую видит руководство компании от внедрения технологий СППР [4].

DSS (Desicion Support System) – полнофункциональные системы анализа и исследования данных, рассчитанные на подготовленных пользователей, имеющих знания как в части предметной области исследования, так и в части компьютерной грамотности. Обычно для реализации DSS-систем (при наличии данных) достаточно установки и настройки специализированного ПО поставщиков решений по OLAP-системам и Data Mining.

Такое деление систем на два типа не означает, что построение СППР всегда предполагает реализацию только одного из этих типов. EIS и DSS могут функционировать параллельно, разделяя общие данные и/или сервисы, предоставляя свою функциональность как высшему руководству, так и специалистам аналитических отделов компаний [5].

4. Области применения

Телекоммуникационные компании используют СППР для подготовки и принятия комплекса решений, направленных на сохранение своих клиентов и минимизацию их оттока в другие компании. СППР позволяют компаниям более результативно проводить свои маркетинговые программы, вести более привлекательную тарификацию своих услуг.

Анализ записей с характеристиками вызовов позволяет выявлять категории клиентов с похожими стереотипами поведения, с тем чтобы дифференцировано подходить к привлечению клиентов той или иной категории.

Есть категории клиентов, которые постоянно меняют провайдеров, реагируя на те или иные рекламные компании. СППР позволяют выявить наиболее характерные признаки «стабильных» клиентов, т.е. клиентов, длительное время остающихся верными одной компании, давая возможность ориентировать свою маркетинговую политику на удержание именно этой категории клиентов.

СППР используются для более качественного мониторинга различных аспектов *банковской деятельности*, таких как обслуживание кредитных карт, займов, инвестиций и так далее, что позволяет значительно повысить эффективность работы.

Выявление случаев мошенничества, оценка риска кредитования, прогнозирование изменений клиентуры – области применения СППР и методов добычи данных. Классификация клиентов, выделение групп клиентов со сходными потребностями позволяет проводить целенаправленную марке-

тинговую политику, предоставляя более привлекательные наборы услуг той или иной категории клиентов.

Набор применений СППР в *страховом бизнесе* можно назвать классическим - это выявление потенциальных случаев мошенничества, анализ риска, классификация клиентов.

Обнаружение определенных стереотипов в заявлениях о выплате страхового возмещения, в случае больших сумм, позволяет сократить число случаев мошенничества в будущем.

Анализируя характерные признаки случаев выплат по страховым обязательствам, страховые компании могут уменьшить свои потери. Полученные данные приведут, например, к пересмотру системы скидок для клиентов, подпадающих под выявленные признаки.

Классификация клиентов дает возможность выявить наиболее выгодные категории клиентов, чтобы точнее ориентировать существующий набор услуг и вводить новые услуги.

Торговые компании используют технологии СППР для решения таких задач, как планирование закупок и хранения, анализ совместных покупок, поиск шаблонов поведения во времени.

Анализ данных о количестве покупок и наличии товара на складе в течение некоторого периода времени позволяет планировать закупку товаров, например, в ответ на сезонные колебания спроса на товар.

Часто, покупая какой-либо товар покупатель приобретает вместе с ним и другой товар. Выявление групп таких товаров позволяет, например, помещать их на соседних полках с тем, чтобы повысить вероятность их совместной покупки.

Поиск шаблонов поведения во времени дает ответ на вопрос: «Если сегодня покупатель приобрел один товар, то через какое время он купит другой товар?». Например, приобретая фотоаппарат, покупатель, вероятно, в ближайшем будущем станет приобретать пленку, пользоваться услугами по проявке и печати [6].

Заключение

На сегодняшний день не существует признанного лидера в области производства программного обеспечения для построения систем СППР. Ни одна из компаний не производит готового решения, что называется «из коробки», пригодного к непосредственному использованию в производственном процессе заказчика. Создание СППР всегда включает в себя стадии анализа данных и бизнес-процессов заказчика, проектирования структур хранилища с учетом его потребностей и технологических процессов.

Несколько десятков различных фирм выпускают продукты, способные решать те или иные задачи, возникающие в процессе проектирования и эксплуатации систем СППР. Сюда входят СУБД, средства выгрузки/трансформации/загрузки данных, инструменты для OLAP-анализа и многое другое. Самостоятельный анализ рынка, изучение хотя бы нескольких таких средств - непростая и длительная задача.

Учитывая размер вовлекаемых финансовых и других ресурсов, сложность и многоэтапность проектов построения систем СППР очевидна высокая стоимость ошибок проектирования. Ошибки выбора программного обеспечения могут повлечь за собой финансовые расходы, не говоря уже об увеличении времени выполнения проекта. Ошибки проектирования структуры данных могут вести как к неприемлемым производственным характеристикам, так и стоить времени потраченного на перезагрузку данных, которое порой достигает нескольких суток.

Поэтому глубоко понимая архитектуру хранилищ данных, необходимо избегать всяких ошибок, что влечет за собой значительное сокращение времени выполнения проекта и возможность получить максимальную отдачу от внедрения СППР.

Список использованных источников

1. Кравченко Т. К. и др.; Информатизация принятия экономических решений, Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов, 2008, № 9. С. 46–55.
2. Ларичев О. И.; Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах, Логос, 2002, 296с.
3. В.И. Бодров, Т.Я. Лазарева, Ю.Ф. Мартемьянов; Математические методы принятия решений, ТГТУ, 2004, 83с.
4. Волков О.И.; Экономика предприятия. М.: ИНФРА. 2001, 461с.
5. Чепурин М.Н.; Курс экономической теории. Киров: АСА, 1999, 744с.
6. Кривко О.Б.; Информационные технологии.; М.: СОМИНТЭК, 2001, 168с.

УДК 669.162.12:622

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ С РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫМИ СТРУКТУРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Павловец В.М.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Основными компонентами железосодержащей части шихты доменных печей является агломерат и железорудные окатыши. Доля окатышей в шихте доменной плавки колеблется от 10-40 % в России, Японии, Китае и до 40-60 % в Европе, до 90-100 % в Северной Америке [1, 2]. В технологиях прямого получения железа (Хилл – III, Мидрекс, Корекс) окисленные железорудные окатыши являются основным видом окускованного сырья, применяемого для получения электростали. Для многих промышленно развитых стран мира, обладающих большими запасами железных руд, железорудное сырье в виде окатышей, металлизованных брикетов и концентрата является

дорогостоящим и прибыльным товаром, экспортная выручка от которого достигает, например, в России до 10 % от общего объема валютных поступлений.

Совершенствование технологического процесса получения окатышей осуществляется по нескольким техническим направлениям. Одно из ведущих направлений – это повышение металлургических (потребительских) свойств окускованного сырья. Среди них прочностные характеристики окатышей, необходимые для эффективной восстановительно-тепловой обработки в шахтных печах и осуществления многочисленных транспортных операций. Актуальны проблемы повышения содержания железа в окускованном сырье, скорости восстановления, улучшения спекаемости и другие [3, 4]. Следующее техническое направление – это снижение топливоэнергетических затрат при производстве сырья на единицу готовой продукции. Эта проблема решается разработкой оптимальных технологических режимов сушки и обжига окатышей на обжиговой конвейерной ленте с целью снижения расхода природного газа.

Для уменьшения расхода технологического топлива применяют более дешевые заменители природного газа: коксик, угольную мелочь, углеродсодержащие отходы промышленного и сельскохозяйственного производства (древесную муку, лигнин, мелассу) [5, 6]. Их используют путем ввода тонкоизмельченного материала в шихту окатышей, либо организуют слоевое или форкамерные сжигание топлива [1].

В последнее время активно развивается техническое направление, связанное с частичным замещением концентрата железосодержащими отходами металлургического производства (сварочным шлаком, шламами газоочисток, красным шламом), недообогащенным концентратом и другими материалами, позволяющими снизить себестоимость сырья [7, 8, 9]. Предлагается достаточно широкий список менее расходных заменителей бентонита, обладающих вяжущими свойствами. При этом к исследованию новых технологий часто применяют комплексный подход, проявляющийся в использовании новых шихтовых компонентов (например, нетрадиционных восстановителей), позволяющих снизить топливоэнергетические затраты и одновременно улучшить металлургические свойства (восстановимость, прочность, спекаемость и т.д.) окатышей. На этом пути также возникают проблемы, связанные с трудностью формообразования плохокомкуемых (углеродсодержащих, грубодисперсных, замасленных и др.) шихт, затрудняющих получение прочного окомкованного сырья с достаточной производительностью окомкователя.

Одной из комплексных технологий получения железорудных окатышей является процесс, основанный на принудительном формообразовании влажной шихты методом напыления сыпучего материала сжатым воздухом на шихтовый гарнисаж окомкователя, разработанный в ГОУ ВПО «СибГИУ» (г. Новокузнецк) [10, 11]. Принципиальная технологическая схема получения железорудных окатышей показана на рисунке 1.

1 – загрузочный транспортер; 2 – тракт увлажнения; 3 – тарельчатый окомкователь; 4 – транспортер кондиционных окатышей; 5 – тракт подачи сжатого воздуха; 6 – дутьевой короб; 7 – теплоизолирующий горн; 8 – теплообменник; 9 – дымовые каналы; 10 – горн обжиговой машины
Φ_1 … Φ_9 – технологические операции (наименование в тексте);

Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема производства железорудных окатышей на стадиях подготовки шихты к спеканию (А) и термической обработки окатышей (Б) (смесительное отделение не показано)

Принципиальная технологическая схема производства железорудных окатышей разработана с учетом типовых и дополнительных (альтернативных) технологических операций, входящих в структуру способа подготовки шихты к спеканию на сырой стадии анализируемой технологии (таблица 1). Осям (строкам) морфологической таблицы соответствуют следующие основные типовые технологические операции целенаправленного действия: загрузка потока шихты в окомкователь (Φ_1), ориентация загружаемого потока шихты в окомкователь (Φ_2), увлажнение шихты в окомкователе (Φ_3), окомкование шихты в окомкователе (Φ_4), транспортирование сырых кондиционных окатышей к обжиговому агрегату (Φ_8). Этот комплекс типовых операций решает известные технологические задачи: формование сферических тел (окатышей) из влажной сыпучей железорудной шихты, заданное первичное упрочнение окатышей, выдерживающих динамические и статические нагрузки на пути к обжиговому агрегату и на колосниковом поле конвейерной ленты в зонах сушки и подогрева.

Таблица 1 – Морфологическая таблица и обобщенная структура технологической схемы подготовки железорудной шихты к спеканию

Основные и дополнительные технологические операции	Альтернативные частные операции	Обобщенная структура технологической схемы (первый и второй уровень)
Φ_1 Загрузка потока шихты в окомкователь:	1 – свободнопадающей струей; 2 – то же в герметичном канале; 3 – воздушно-шихтовой струей	
Φ_2 Ориентация загружаемого потока шихты в окомкователе:	1 – свободным падением; 2 – воздушной струей; 3 – водовоздушной струей; 4 – с помощью канала	
Φ_3 Увлажнение шихты в окомкователе:	1 – разбрызгиванием воды или связующего раствора; 2 – без увлажнения; 3 – разбрызгиванием водо-шихтовой пульпы	
Φ_4 Окомкование шихты в окомкователе:	1 – окатыванием в тарели; 2 – окатыванием в барабане	
Φ_5 Внешнее силовое воздействие на сырые материалы:	1 – свободнопадающим потоком шихты; 2 – низкотемпературными струями воздуха; 3 – напылением шихты воздушно-шихтовыми струями; 4 – массой шихтового пригруза; 5 – массой комкуемого слоя	

Продолжение таблицы 1

Основные и дополнительные технологические операции	Альтернативные частные операции	Обобщенная структура технологической схемы (первый и второй уровень)
Φ_6 Приращение массы окатышей:	1 – зародышеобразованием; 2 – окомкованием шихты; 3 – напылением шихты воздушно-шихтовыми струями; 4 – доокомкованием шихты методом переката	
Φ_7 Термическое воздействие на сырые материалы:	1 – без термического воздействия; 2 – низкотемпературными воздушно-шихтовыми струя-ми; 3 – низкотемпературными струями воздуха	
Φ_8 Транспорти-рование сырых окатышей:	1 – перемещение транспортерной лентой	
Φ_9 Термообработ ка слоя сырых окатышей на транспортной ленте:	1 – без термообработки; 2 – низкотемпературными струями воздуха; 3 – тоже в теплоизолированном горне	

Для разработки дополнительных альтернативных технологических операций сформулированы вспомогательные технологические задачи, среди которых определяющими являются: организация внешнего силового упрочняющего воздействия на сырые материалы в окомкователе, интенсификация скорости прироста массы окатышей в процессе окомкования, организация принудительного зародышеобразования и низкотемпературная термическая обработка, применяемая с целью частичного удаления влаги из окатышей на сырой стадии технологии. Спектр вспомогательных задач при необходимости можно расширить.

Решения этих задач позволяют сформулировать и ввести в морфологическую таблицу дополнительные, относящиеся к вторичным (резервным), альтернативные технологические операции Φ_5, Φ_6, Φ_7, Φ_9 (морфологические оси – строки), лежащие в общем русле первичных технологических задач и

не противоречащие назначению технологии. Дополнительные технологические операции Φ_5, Φ_6, Φ_7, Φ_9 являются резервными, поскольку реально работающие технологические схемы, относящиеся к прототипам, могут функционировать без них. При необходимости, исключив их из работы, можно вернуться к исходной технологии. Новые технологические операции Φ_5, Φ_6, Φ_7, названные по виду соответствующего технологического воздействия, в совокупности с технологическим инструментарием (технологические устройства, физические поля или материальные объекты) имеют конкретное технологическое назначение.

Схема получения сырых окатышей, структурно содержащая технологию принудительного зародышеобразования, приведена на рисунке 2.

1 – область напыления (напыленный слой); 2 – область принудительного зародышеобразования; 3 – зародыши; 4, 5 – рабочая и холостая зоны окомкователя; 6, 7 – области увлажнения и доокомкования; 8 – годные окатыши

Рисунок 2 – Схема получения окатышей на основе принудительного зародышеобразования

Схема технологической цепи отличается от известной технологии тем, что часть управляющих воздействий, основанных на струйной теплосиловой обработке, перенесена с высокотемпературной (сушка, обжиг) на низкотемпературную (окомкование, транспортирование) стадию. Этому способствуют некоторые технологические особенности схемы цепи аппаратов участка подготовки шихты к спеканию. В частности, на участке загрузки шихты в окомкователь существует принципиальная возможность организации внешнего теплосилового воздействия на процесс получения сырых окатышей способом напыления шихты на шихтовые (шихтовый гарнисаж, слой влажных окатышей) или эластичные поверхности. Напыление влажной шихты организуется 2-3 струйными аппаратами классической конструкции, в которых расход сжатого воздуха достигает 20-40 м^3/т при коэффициенте ин-

жекции, равном 8-20. Дозвуковые скорости истечения обеспечивают шихте давление, необходимое для формирования нынпыленного слоя шихты на шихтовом гарнисаже, плотность которого (2200-3400 кг/м^3) изменяются в широких пределах.

Напыленный слой окатышей и полученные из него зародыши имеют влажность меньшую (на 0,5-0,7 %), чем влажность загружаемой шихты или влажность оболочки сырых окатышей даже при работе на холодном (20 °С) сжатом воздухе. Использование сжатого воздуха с температурой 100-140 °С снижает влажность окатышей на 2-3 %. В результате этого на технологическом маршруте производства сырых окатышей получены окатыши с регламентируемой поровой и минеральной структурой, с низкой и благоприятной структурой влажности (40 % влаги в центре, 60 % в оболочке). Производительность окомкователя возрастает на 20-30 % из-за вовлечения в процесс принудительного зародышеобразования холостой (не занятой материалами) зоны и за счет более высокой (в 1,5-2,0 раза) скорости роста массы окатышей. На участке высокотемпературного обжига окатышей, характеризующихся регламентированной поровой и влажностной структурой, снижается расход топлива на сушку полусухих окатышей и уменьшаются тепловые ограничения для интенсивного нагрева слоя.

Более низкая пористость центральных слоев окатышей снижает диффузионные затруднения, как при окислении, так и при переносе газа – восстановителя в ходе последующей восстановительно-тепловой обработке в шахтных печах. Обожженные окатыши с регламентированной структурой имеют высокую механическую прочность, близкую прочности стандартного сырья (2,5-3,2 кН/окат, для неофлюсованных окатышей),ы и более высокую на 5-10 % степень восстановления.

Список использованных источников

1. Производство товарной железной руды в Северной Америке в 2005 году//Новости черной металлургии за рубежом. – 2006. – №4. – С. 9-15.
2. Влияние состава и качества железорудного сырья на технико-экономические показатели доменной плавки / В.П. Лялюк [и др.]// Бюлл. науч. техн. и экон. информ. в черной металлургии. – 2010. – №12. – С. 32-38.
3. Металлургия чугуна/Е.Ф. Вегман [и др.]. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004.–774 с.
4. Интенсификация производства и улучшение качества окатышей /Ю.С. Юсфин [и др.].– М.: Металлургия, 1994. – 240 с.
5. Мещерякова Н.И. Производство железорудных окатышей с органическими связующими/ Н.И. Мещерякова//Экспресс информация. Черные металлы, М.: Чермет информация. – 1985. – Вып. 25.– С. 16.
6. Павловец В.М. Использование нитевидных отходов производства при получении железорудных окатышей/ В.М. Павловец. – Сб. докладов II-й международной науч. практ. конференции «Управление отходами – ос-

нова восстановления экологического равновесия в Кузбассе», Новокузнецк, СибГИУ, 2008, с.76-80.
7. Вегман Е.Ф. Окускование руд и концентратов/Е.Ф. Вегман.– М.: Металлургия, 1984. – 256 с.
8. Палант А.А. К вопросу об окомковании сульфидных молибденовых концентратов / А.А. Палант// Металлы. – 2007. – №2. – С. 23-25.
9. Утков В.С. Повышение прочности агломератов и окатышей при помощи бокситового красного шлама/В.С. Утков, Л.И. Леонтьев//Сталь. – 2005. – №9. – С. 2-4.
10. Патент № 2385351 Россия, МКИ[7] С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2008139095/02. Заявл. 01.10.2008; Опубл. 27.03.2010. Бюл. №9 // Изобретения. Полезные модели. 2010. – № 9.
11. Патент № 2387720 Россия, МКИ[7] С22В 1/24. Способ подготовки шихты к спеканию / В.М. Павловец – № 2008151256/02. Заявл. 23.12.2008; Опубл. 27.04.2010. Бюл. №12 // Изобретения. Полезные модели. 2010. – № 12.

УДК 681.5.015

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВОЗМУЩЕНИЙ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Манкевич Е.И., Ширяев В.И.

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Функционирование динамических систем в экстремальных условиях сопровождается высоким уровнем неопределенности возмущений, действующих на объект управления, что делает актуальным разработку методов оценивания и управления, использующих не только стохастическую аппроксимацию неопределенностей [3, 6, 7, 13, 14]. В тех случаях, когда внешняя среда перестает быть «агрессивной», повышение точности (и эффективности) управления возможно путем идентификации возмущений в реальном времени. В настоящей работе рассматривается подход, позволяющий извлекать информацию из коротких временных рядов, обладающих признаками детерминированного хаоса [1, 2, 15, 18], что представляется весьма актуальным (см., например, [10, 18]). Приводятся примеры. Работа продолжает исследования [2, 4, 5, 9, 15, 16].

1. Постановка задачи. Рассматриваются управляемые процессы в традиционной для минимаксного подхода постановке. Пусть в линейном приближении модель движения и измерения задаются системой вида

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + w_k,\ y_{k+1} = Gx_{k+1} + v_{k+1},\ k = 0, 1, \ldots, N\text{-}1 \qquad (1)$$

где векторы x_k, u_k, y_k – соответственно, состояния, управления и измерения; векторы x_0 возмущений w_k и помех v_k, известные с точностью до известных множеств X_0, W, V, т.е.

$$x_0 \in X_0,\ w_k \in W,\ v_{k+1} \in V,\ k = 0, 1, \ldots, N\text{-}1 \qquad (2)$$

из которых в каждый k-ый момент времени возмущения w_k и помехи v_{k+1} могут принимать любое значение. Решение задачи управления предполагает решение задачи оценивания, которое получено в виде информационного множества (см., например, [6, 7, 14, 15]) X_{k+1}, $x_{k+1} \in X_{k+1}$

$$X_{k+1} = X_{k+1/k} \cap X[y_{k+1}],\ k = 0, 1, \ldots, N\text{-}1,$$
$$X_{k+1/k} = AX_k + Bu_k + W,\ X[y_{k+1}] = \{x|Gx + v = y_{k+1},\ v \in V\}, \qquad (3)$$

где $X_{k+1/k}$, $X[y_{k+1}]$ – множество прогнозов и множество, совместное с измерением.

Повышение точности оценивания возможно за счет построения адаптивных алгоритмов оценивания направленных либо на уточнение «размеров» множеств возмущений W и помех V, либо за счет решения задач идентификации возмущений от w_k и помех v_{k+1} по текущим измерениям y_k, $k = 0, 1, \ldots$.

2. Определяющие соотношения. Рассмотрим подход к построению адаптивного алгоритма оценивания, когда повышение точности оценивания может произойти за счет решения идентификации возмущений w_k, $k = 0, 1, \ldots$ и помех v_{k+1}, $k = 0, 1, \ldots$ и применения далее полученной математической модели возмущений и помех в алгоритме оценивания. Один из возможных подходов к построению математической модели возмущений и помех основывается на разложении наблюдаемого процесса по системе ортогональных функций (см. например, [11]). Пусть наблюдается процесс

$$y_k = x_k + \xi_k,\ k = 0, 1, \ldots, \qquad (4)$$

где x_k, ξ_k - скаляры, измеряемая величина (возмущение, помеха) и ошибка измерения, соответственно. Будем полагать, что ξ_k, $k = 0, 1, \ldots$ – гауссовский белый шум с неизвестной дисперсий и нулевым средним.

Для x_k будем искать представление в виде

$$x_k = \sum_{i=1}^{m} \alpha_k x_{ik},\ k = 0, 1, \ldots, \qquad (5)$$

где x_{ik} – система ортогональных функций $i = \overline{1,m}$, заданных в моменты времени $k = 0, 1, \ldots$; α_i – const подлежащие определению $i = \overline{1,m}$.

Задача идентификации при такой постановке сводится к выбору системы ортогональных функций [11] $x_{ik}, i = \overline{1,m}$ и коэффициентов $\alpha_i, i = \overline{1,m}$ по реализации процесса $y_k, k = \overline{0,n_1}$. Далее при $k > n_1$ найденная модель (4), (5) используется в модели системы (1). Успех решения задачи идентификации во многом предопределяется выбором системы функций $x_{ik}, i = \overline{1,m}$. Так,

(см., например, в [12]) для непрерывно дифференцируемой функции $g(t) : R^1 \to R^1$ для любого $\varepsilon > 0$, и $t \in [0, T]$ существуют такие n, α_i, β_i, C_i и $x_i(0) = \Delta_i$, что верно

$$|y(x(t)) - q(t)| \le \varepsilon$$

где

$$y(x) = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i ,$$

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha_i x_i (1 - \beta_i x_i), \quad i = \overline{1,n}, \quad x_i(0) = \Delta_i , \tag{6}$$

т.е. предлагается аппроксимация функции g(t) линейной комбинацией логистических функций, заданных неявно, в виде дифференциальных уравнений (6), являющихся частным случаем уравнения Ферхюльста П.Ф. (1838 г.) [17].

Представляется целесообразным в случае хаотических возмущений и помех выбирать в качестве системы функций $x_{ik}, i = \overline{1,m}$ так же хаотические функции удовлетворяющие условиям ортогональности и образующих систему базисных функций [8]. Такие функции могут быть заданы и неявно, путем задания известных нелинейных отображений [15]

$$x_{ik+1} = \varphi_i(x_{ik}, \lambda_i), \quad i = \overline{1,m}, \quad k = 0,1,\ldots, \tag{7}$$

где $\varphi_i : R^n \to R^n$, $\lambda_i \in R^p$ – вектор параметров, $i = \overline{1,m}$.

Например, известное (см., например, [15]) логистическое отображение

$$x_{k+1} = \lambda x_k(1 - x_k), \ \lambda \in [3{,}6;4]$$

для разных значений $\lambda \in [3{,}6;4]$ порождает хаотические функции (процессы), заданные неявно. Эти функции для разных значений λ оказываются ортогональными и поэтому могут составить базис. В выборе системы отображений (7) может оказаться полезным известное свойство ковариационной функции $K_y(\tau)$ ряда y_k, $k = 0,1,\ldots$, когда функцию $K_y(\tau)$ будем представлять в виде суммы

$$K_y(k) = \sum_{i=1}^{m} K_i(k) + K_\xi(k) , \tag{8}$$

где каждая i-я ковариационная функция $K_y(\tau)$ соответствует i-у отображению (7), $K_\xi(k)$ – ковариационная функция ошибок измерения.

Выбор систем функций (6) с соответствующими ковариационными функциями $K_i(k)$, очевидно, должен быть с минимальным числом m функций $x_{ik}, i=\overline{1,m}$, для которого выполняется условие

$$K_y(k) \approx \sum_{i=1}^{m} K_i(k). \tag{9}$$

Наряду с выбором системы отображений (7) и подбором значений параметров $\lambda_i, i=\overline{1,m}$ для обеспечения условия (9) определенные возможности для решения этой задачи будут предоставлять формирующие фильтры, которые широко применяются для формирования из белого шума случайных процессов с заданными вероятностными свойствами. В рассматриваемом случае вместо белого шума необходимо брать хаотический временной ряд x_{ik}, $k = 0,1,\ldots$, порождаемый нелинейным отображением (7).

После выбора системы отображений (7) значения параметров λ_i можно найти из решения экстремальных задач

$$\lambda_i^* = Arg \max \sum_{k=1}^{N} K_{yx_i}(k),$$

где $K_{yx_i}(k)$ – взаимная ковариационная функция процессов y_k и x_k. Нахождение коэффициентов $\alpha_i, i=\overline{1,m}$ в (5) является известной задачей (см., например, [8]).

Пример 1. Рассмотрим линейную комбинацию двух логистических отображений, когда параметры отображения и весовые коэффициенты неизвестны:

$$y_{k+1} = \sum_{i=1}^{2} \alpha_i x_{ik+1} + \eta_{k+1}, \quad x_{ik+1} = \lambda_i x_{ik}(1 - x_{ik}), \quad i = 1,2; \quad k = \overline{0, N-1}, \tag{10}$$

где $x_{ik} \in R$ – хаотическое решение системы, $y_k \in R$ – вектор измерений, α_i – весовые коэффициенты, λ_i – параметр логистического отображения, $\eta_k \sim N(0, \sigma)$ – шумы в измерениях. При оценке параметров модели (10) возникает задача условной оптимизации:

$$\sum_{k=1}^{N} (y_k - (\alpha_1\lambda_1 x_{1k-1}(1 - x_{1k-1}) + \alpha_2\lambda_2 x_{2k-1}(1 - x_{2k-1}))^2 \to \min_{\alpha_1, a_2, \lambda_1, \lambda_2}, \tag{11}$$
$$3{,}57 \le \lambda_1 \le 4, \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1, \quad \alpha_i > 0, \quad i = 1,2.$$

В результате экспериментов получены оценки значения параметров модели (10) ($\lambda_1 = 3{,}6$, $\lambda_2 = 4$, $\alpha_1 = 0{,}2$, $\alpha_2 = 0{,}8$, $N = 100$, $x_{10} = 0{,}07$, $x_{20} = 0{,}7$) при наличии шумов в измерениях и ошибок в оценке начальных значений

параметров $\varepsilon_k \sim N(0, \delta)$. При $\delta = 0{,}001$и величине $\sigma = 0{,}009$ ошибка оценивания параметров не превышает 10%.

Пример 2. Приведенный метод применен к идентификации поведения абонентов на конкурентном сотовой связи, который можно рассматривать как динамическую систему (см., например, [2, 8, 17]). Рассмотрим реальный ряд остатков от аппроксимации ряда подключений абонентов. Модель для ряда остатков e_k от аппроксимации ряда подключений строим в виде решений суммы логистических отображений:

$$e_k = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_{ik} + \varepsilon_k \text{ , } k = 0, 1, \ldots, N\text{-}1, \tag{12}$$

где x_{ik} – хаотическое решение, которое имеет место в модели (10).

На первом этапе из интуитивных предположений в качестве слагаемых суммы выбираются решения $m = 3$ логистических уравнений с параметрами $\lambda_1 = 3{,}6$, $\lambda_2 = 3{,}7$ и $\lambda_3 = 3{,}8$ и начальными условиями $x_{i0} = 0{,}5$, $i = 1, 2, 3$. По методу наименьших квадратов находятся оценки коэффициентов разложения. В результате первого этапа показатель Херста для ряда $\varepsilon_k = e_k - \sum_{i=1}^{3} \alpha_i x_{ik}$, $k = 0, 1, \ldots, N\text{-}1$ стал равным 0,4492 (см., например, [15]).

На втором этапе при фиксированных значениях α_i проводится оптимизация по значениям λ_i с точностью $\varepsilon_\lambda = 0{,}01$, в результате чего получены следующие значения: $\lambda_1 = 3{,}65$, $\lambda_2 = 3{,}72$ и $\lambda_3 = 3{,}78$. На рисунке 1 представлен ряд остатков после аппроксимации на первом этапе и его аппроксимация на втором этапе. Показатель Херста после выполнения 2 этапа стал равным 0,4820, полученный ряд остатков по своим свойствам близок к случайному. Следовательно, полученный в результате решения задачи оптимизации ряд остатков приближен по своим свойствам к белому шуму, дальнейшую аппроксимацию проводить не имеет смысла.

Рисунок 1 – Ряд остатков этапа 1(—) и его аппроксимация на этапе 2(---)

Заключение. Идентификация неконтролируемых возмущений w_k в системе (1) позволит уточнить либо «размеры» множества W (2), либо рекон-

струировать модель возмущений w_k, использование которой в алгоритме фильтрации (3) повысит точность оценивания вектора состояния за счет уменьшения «размеров» информационного множества x_{k+1}.

Список использованных источников

1. Анищенко, В.С. Корреляционный анализ режимов детерминированного и зашумленного хаоса / В.С. Анищенко, Т.Е. Вадивасова, Г.А. Окрокверцхов, Г.И. Стрелкова // Радиотехника и электроника. 2003. №7. С. 824-835.
2. Гришин, И.В. О решении задач параметрической идентификации процессов с хаотической динамикой / И.В. Гришин, Е.И. Манкевич, К.В. Телегина, А.С. Шелудько, В.И. Ширяев // Вестник ЮУрГУ. 2008. Вып. 7.– №3. С. 44-51.
3. Калман, Р.Е. Идентификация систем с шумами / Р.Е. Калман // Успехи мат. наук. 1985. Т. 40., Вып. 4 (244). С. 27-41.
4. Кожихова, Н.А. Нейронные сети и задачи прогнозирования хаотических рядов / Н.А. Кожихова, В.И. Ширяев // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. XII Всерос. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика-2010»: сб. науч. тр. – в 2-х частях. Ч.2. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. С. 122-130.
5. Кожихова, Н.А. Прогнозирование временного ряда с учетом хаотической компоненты/ Кожихова Н.А., Ширяев В.И.// Вестник ЮУрГУ. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2010. № 22 (198). Вып. 12. С. 22–25.
6. Красовский, Н.Н. Современные проблемы оптимизации и устойчивости неопределенных и стохастических систем / Н.Н. Красовский, А.Б. Куржанский, А.И. Кибзун // Автоматика и телемеханика, 2007. №10. С. 3-4.
7. Кунцевич, В.М. Определение гарантированных оценок векторов состояния и параметров линейных динамических систем при ограниченных возмущениях / В.М. Кунцевич // Докл. АН СССР. 1986. Т. 228., №3. С. 567-570.
8. Лоскутов, А.Ю. Нелинейная оптимизация хаотической динамики рынка/ Лоскутов А.Ю. // Экономика и математические методы. 2010. Т. 46, №3. С. 58-70.
9. Манкевич, Е.И., Ширяев В.И. О задаче оценивания параметров моделей систем с хаотическими решениями/ Манкевич Е.И., Ширяев В.И.// Стратегическое планирование и развитие предприятий. Матер. десятого Всеросс. симпоз. – М.: ЦЭМИ РАН, 2009. Секция 2. С. 122–124.
10. Никульчев, Е.В. Моделирование систем с нелинейной динамикой на основании экспериментальных данных / Е.В. Никульчев // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. №5. С. 6-11.
11. Садовничий, В.А. Предсказуемость глобальных и региональных явлений в природе и обществе / В.А. Садовничий, В.В. Козодеров, Л.А. Ушакова, С.А. Ушаков // Вестник ОГГГГН РАН. 2000. №1(11). С. 84-121.

12. Тюкин, И.Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах / И.Ю. Тюкин, В.А. Терехов. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 208 с.
13. Филимонов, Н.Б. Полиэдральная оптимизация дискретных процессов управления: теория и применение: дис. … д-ра техн. наук / Н.Б. Филимонов. – М.: Изд-во МГУ ПиП, 2009. – 47 с.
14. Ширяев, В.И. Алгоритмы управления динамическими системами в условиях неопределенности / В.И. Ширяев // Мехатроника. 2001. №8. С. 2-5.
15. Ширяев, В.И. Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика / В.И. Ширяев. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 232 с.
16. Ширяев, В.И. О задаче управления динамическими системами при недостатке информации/ Ширяев В.И.// Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: VII Всерос. науч.- практ. конф. Новокузнецк: СибГИУ, 2009. С.117-123.
17. Verhulst, P.F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement / P.F. Verhulst // Corr.Math. et Phys., 1838, vol. 10, P. 113-121.
18. Voss, H.U. Nonlinear dynamical system identification form uncertain and indirect meansurements / H.U. Voss, J. Timmer // Int. J. of Bif. and Chaos. 2004. №6. P. 1905-1933.

УДК 681.51:669.18

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В АГРЕГАТА СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОГО ТИПА

Гуревич С.И., Падалко А.Г., Оленников А.А.

СибГИУ, г. Новокузнецк

В 1992 году на Западно-Сибирском металлургическом комбинате (ЗСМК) была создана опытная установка непрерывного производства металлопродукта, в основу которой легли принципы теории самоорганизации. Но, к сожалению, руководством ЗСМК было принято решение приостановить работу агрегата. В связи с этим, для более полного изучения технологии процесса на кафедре Информационных технологий в металлургии была создана лабораторная установка низкотемпературного моделирования процессов в струйно-эмульсионном реакторе (СЭР). В настоящее время, актуальной задачей является модернизация технологической части данной установки (рисунок 1), а так же создание системы автоматизации на основе современных средств автоматики.

Установка состоит из двух основных реакторов: осциллятора и рафинирующего отстойника, а так же трех вспомогательных: гранулятора, аппарата кипящего слоя и котла утилизатора. В качестве реагентов в осцилляторе используются вода и воздух. На горизонтальные форсунки осцилятора подается воздух, а из вертикальной форсунки поступает вода. При взаимодей-

ствии воды с воздухом происходит ее распыление. Далее водовоздушная смесь через соединительный канал выталкивается в рафинирующий отстойник. В нем она разделяется на воду и воздух.

Рисунок 1 – Технологическая схема процесса

На рисунке 2 приведена схема автоматизации лабораторной установки, на которой отмечены точки подключения датчиков, места расположения запорной и регулирующей арматуры, а так же виды трубопроводов и их диаметры. Система автоматизации лабораторной установки состоит из двух подсистем:

– подсистема контроля и регулирования подачи газов;

– подсистема контроля и управления шихтоподачей.

– *Подсистема контроля и регулирования подачи газов*. Подача воздуха на продувку осуществляется от компрессора через трубопровод на котором последовательно установлены клапан, нагревательный контур (с датчиком давления и термопарой), нормально закрытый отсечной клапан. Измерительная диафрагма и регулирующий клапан с электроприводом необходимы для управления процессом подачи воздуха. Далее трубопровод разветвляется и его диаметр уменьшается до 6 мм. Клапаны установлены для ручного управления расходом воздуха. В струйно-эмульсионный реактор воздух поступает через 2 форсунки. Схема автоматизации лабораторной установки приведена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Схема автоматизации лабораторной установки

Подсистема контроля и управления шихтоподачей. Представляет собой водопровод диаметром 15 мм, с установленным на нем последовательно ручным клапаном, отсечным нормально-открытым клапаном. В буферном баке установлен датчик давления и термопара. Далее установлена измерительная диафрагма, регулирующий клапан с электроприводом, после которого идет сужения трубопровода до 6мм. Ручной клапан для подстройки. В реактор вода (шихта) поступает через форсунку.

Для разработки системы автоматизации использовалось оборудование компании ОВЕН. Продукция данного отечественного производителя идеально подходит для создания малых систем управления.

Основой разрабатываемой автоматизированной системы управления (АСУ) является программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 150. Через интерфейс RS-485 к нему подключены три модуля аналогового ввода и один дискретного вывода. Модули конфигурируются с ПК через преобразователь интерфейсов АС4. ПЛК подключен к ПК с помощью интерфейса Ethernet. Для питания датчиков используются 3 блока питания постоянного тока на 24 В.

Подсистема контроля и регулирования подачи газов в реактор-осцилятора. Термопара и датчик давления подключены к модулю ввода аналоговых сигналов (МВА 8). Компрессор, нагревательный контур и отсечной клапан подключены к модулю дискретного вывода. Электропривод подключен к двум дискретным выходам и к аналоговому входу ПЛК 150. Датчик

дифференциального давления так же подключен к аналоговому входу контроллера. В подсистеме контроля и управления шихтоподачей оборудование подключено аналогично подсистеме контроля газов. *Подсистема контроля параметров реактора-осцилятора* состоит из двух датчиков давления и термопары подключенных к МВА 8. *Подсистема контроля параметров рафинирующего отстойника* состоит из трех термопар четырех датчиков избыточного и одного датчика дифференциального давления подключенных к МВА 8. *Подсистема контроля параметров вспомогательных агрегатов* состоит из трех датчиков давления и трех термопар подключенных к МВА 8. Схема подключения оборудования в АСУ приведена на рисунке 3.

Датчик давления ОВЕН ПД100. Предназначен для измерения избыточного давления до 6 атм. Класс точности 1,0. Выходной токовый сигнал 4..20мА. *Термопара ОВЕН ДТПL.* Рабочий спай хромель-капель, изолированный. Показатель тепловой инерции не более 20сек. Измеряемая температура от -40 до +400°С. *Датчик диф. давления Элемер АИР-10-ДД.* Измерение с помощью диафрагмы. Основная погрешность не более 1,0. Выходной сигнал 4..20мА.

Отсечной клапан SMS-TORK. Напряжение питания 24В. Материал уплотнения - NBR. Диаметр 15мм В нашей АСУ используется нормально-открытый и нормально закрытый клапаны. *Клапан запорно-регулирующий с электроприводом ST MINI.* Управление осуществляется 3 позиционным ключом. Имеет 2 концевых выключателя и реостатный датчик положения. На него подается напряжение в 10В. А затем величина напряжения после датчика предается на аналоговый вход ПЛК.

Модуль дискретного вывода имеет 4 перекидных и 4 нормально открытых электромагнитных реле. Передача данных из ПЛК происходит по протоколу Modbus RTU, как и у восьмиканального модуля ввода аналоговых сигналов.

Преимущества ПЛК150: Отсутствие операционной системы, наличие аналоговых/дискретных входов и выходов, широкие возможности самодиагностики, встроенный аккумулятор и часы реального времени. Схема работы ПЛК 150-20 в сети приведена на рисунке 4.

Стоит отметить, что ПЛК конфигурируется с персональным компьютером (ПК) посредством интерфейса RS-232. Процедура обмена данными между верхним и нижним уровнями АСУ приведена на рисунке 5.

Контроллер передает информацию в ПК по протоколу Modbus TCP в OPC-DDE сервер, который обменивается данными со SCADA-системой, MS SQL Express и Excel (Open Office). Так же, используя SCADA-систему CX-Supervisor версии 3.0 от компании Omron, нами была разработана экранная форма для управления нашей АСУ (рисунок 6).

Рисунок 3 – Схема подключения оборудования

Рисунок 4 – Схема работы ПЛК 150-220 в сети

Рисунок 5 – Обмен данными между верхним и нижним уровнями АСУ

Рисунок 6 – Экранная форма АРМ

Таблица 1 – Необходимое программное обеспечение для АСУ

Необходимое программное обеспечение	Разработчик
CoDeSys v2.3.9.16	Smart Software Solutions
Modbus OPC/DDE сервер	LectusSoft
CX-Supervisor 3.0	Omron
SQL Server 2005 Express Edition	Microsoft

Ориентировочная стоимость АСУ включая оборудования верхнего и нижнего уровня и программного обеспечения составляет около 250 000р.

При выполнении работы в соответствии с характеристиками объекта был создан алгоритм работы системы, произведен отбор оборудования по техническим требованиям, а также составлена схема АСУ. Кроме того разработаны экранные формы позволяющие управлять процессом и получать информацию о его ходе.

УДК 621.746.6

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ НА ОАО «ЗСМК»

Лубяной Д.А.

Новокузнецкий филиал институт Томского политехнического университета, г. Новокузнецк

На ОАО «ЗСМК» в течение последних двадцати лет проводились работы по совершенствованию технологии и повышению качества металла, производимого на комбинате, с использованием термовременной и внепечной обработки железоуглеродистых расплавов.

Термовременная обработка железоуглеродистого расплава была внедрена в период с 1991 по 2004 год в условиях литейного цеха ОАО «ЗСМК» на индукционных печах ИЧТ-10М. Она заключалась в нагреве расплава чугуна и проведении изотермической выдержки с целью получения однородного расплава. Проведенные на комбинате исследования с использованием высокотемпературного микроскопа «Leitz» [1] с применением методик, разработанных в Уральском политехническом институте (УПИ) [2], позволили определить оптимальные режимы термовременной обработки для различных классов чугунов (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры термовременной обработки чугуна на ОАО «ЗСМК»

Агрегат, предприятие	Чугуны, вид продукции	Температура перегрева, °С	Время выдержки, мин
Индукционная печь ИЧТ-10М, ОАО «ЗСМК»	Термостойкий чугун (поддоны, кузнечные изложницы, крышки пром. ковшей МНЛЗ, изложницы и поддоны для производства ферросплавов)	1485...1520	8...10
ИЧТ-10М, ОАО «ЗСМК»	Износостойкий чугун для валков	1530...1550	10...15
ИЧТ-10М, ОАО «ЗСМК»	Шихтовая заготовка для высокопрочного чугуна.	1510	10
Дуговая печь, ОАО «ЗСМК»	Шихтовая заготовка для валков	1530...1590	15...25
ИЧТ-1ОМ, ОАО «ЗСМК»	Белый износостойкий чугун	1520...1550	10...15

Данные режимы нашли широкое распространение и на других предприятиях Кузбасса [3,4].

Применение разработанных режимов термовременной обработки позволило значительно повысить качество продукции и снизить себестоимость производства продукции, так, например, был значительно сокращен расход ферросплавов, повышена эксплуатационная стойкость сменного сталеразливочного оборудования из чугуна индукционной плавки.

Также значительно повышена эксплуатационная стойкость поддонов сквозных изложниц, повышена стойкость изложниц для кузнечных слитков. В настоящее время весь чугун, производимый для нужд комбината, подвергается термовременной обработке. Кроме того, в потоке, параллельно с термовременной обработкой расплава чугуна, осуществляется деазотация расплава кислыми шлаками. Данная технология разработана совместно со специалистами Сибирского металлургического института (СМИ) [5]. Опробована также и технология десульфурации чугуна [6].

Для дальнейшего повышения качества продукции, снижения ее себестоимости, на комбинате предложена и реализована технология внепечной обработки расплава азотом или аргоном методом резонансно-пульсирующего рафинирования фурмами с газодинамическими пульсаторами [7,8].

Сущность такого рафинирования заключается в наложении на металл колебаний путем пульсирующего дутья, в спектре которого имеется низкочастотная составляющая, совпадающая с собственной частотой колебаний металла в ковше.

При выборе оптимальной частоты пульсаций фурмы для продувки чугуна азотом в промышленном ковше применили математическое моделирование. Интенсификация процесса перемешивания значительно увеличивается при наложении низкочастотных колебаний на металл путем подачи пульсирующего дутья, в спектре колебаний которого имеется низкочастотная составляющая, совпадающая с собственной частотой колебаний жидкости. Собственную частоту колебаний жидкости в цилиндре (ковше) высотой h радиусом горизонтального основания r определяли по формуле [9]:

$$\omega_{mn}^2 = g æ_{mn} th(æ_{mn} h), c^{-1} \qquad (1)$$

или

$$(\omega_{mn})^2 = \omega_{mn}^2 \cdot r / g = \eta_{mn} th(\eta_{mn} \cdot h / r), \qquad (2)$$

где $\omega_{mn} = 2\pi f_{mn}$ – циклическая частота собственных колебаний, c^{-1};

$\eta_{mn} = æ_{mn} r$ – корни первой производной функции Бесселя;

$æ_{mn}$ – собственные числа задачи о главных колебаниях жидкости;

$g = 9{,}81$ м/с^2;

$th(æ_{mn}h) = th\ x = e^{x} - e^{-x} / e^{x} + e^{-x}$ – гиперболический тангенс аргумента.

Тогда

$$f_{mn} = \frac{1}{2\pi}(\frac{2}{D} g\eta_{mn} th(\frac{2 \cdot \eta_{mn} \cdot h}{D}))^{1/2}, \quad (3)$$

где D – внутренний диаметр ковша, м.

После определения собственной частоты колебаний металла в ковше разработали конструкцию дутьевого устройства, генерирующего низкочастотную составляющую. В качестве источника колебаний использовали газодинамические пульсаторы. Сущность их работы состоит в следующем: в потоке газа находится плохо обтекаемое тело, за ним образуется вихревой след, причем вихри сбегают с определенной периодичностью, зависящей от формы и размеров конструкции, а также от скорости потока. Так, при обтекании цилиндра образуется вихревая дорожка Кармана. Направление вихрей попеременно меняется, угловая частота отделения вихрей определяется по формуле[9]:

$$w = \frac{0{,}22\upsilon}{2\pi K}, \quad (4)$$

где υ – скорость потока, м/с;

K – диаметр цилиндрического пульсатора в фурме;

0,22 – число Струхаля для цилиндрического пульсатора[9].

Тогда скорость потока υ, м/с, будет определяться по формуле:

$$\upsilon = 4\pi^2 fK / 0{,}22. \quad (5)$$

Решая совместно уравнения 3,4 и 5, определяют оптимальные параметры продувки и размеры пульсатора. Данные расчетов по модели представлены в таблице 2. В таблице: D, h – диаметр и высота ковша, м; f_{01}, f_{11}, f_{21} – номер частоты колебаний; V_{01} – расход газа для соответствующей частоты колебаний, м³/ч.

Таблица 2 – Параметры продувки (диаметр пульсатора 16 мм)

Ковш	D	h	f_{01}	f_{11}	f_{21}	V_{01}	V_{11}	V_{21}
60т	2,45	2,5	0,611	0,787	0,882	7,746	9,981	11,179
10т	1,3	1,35	0,839	1,08	1,21	10,634	13,701	15,347

На этом принципе были разработаны конструкции дутьевых устройств для продувки чугуна нейтральным газом. За основу была взята обычная фурма «ложный стопор». Внутри трубы устанавливаются цилиндрические пульсаторы[10].

Как показали дальнейшие исследования, данный тип фурм генерирует целый спектр частот, значения которых определялись на промышленной установке с помощью импульсного прецизионного шумометра RFG00017. Анализ полученных в эксперименте частотных характеристик показал, что наибольший уровень звукового давления в средне- и высокочастотных областях при расходе инертного газа (8…16) $м^3$/ч приходится на частоты (63…250) Гц, при которых размеры неразрушевшегося газового ядра становятся минимальными. На практике это подтверждалось отсутствием «пробойных режимов», ярко выраженного пятна бурления в ковше. Это свидетельствует об оптимальности заданных дутьевых режимов и с точки зрения подавления вторичного окисления. Был оценен уровень виброскорости колебания фурмы от удельного расхода азота. Исследования виброскорости производили с помощью анализатора спектра, шума и вибрации LD 2800 производства фирмы «Ларсон-Дэвис». Результаты экспериментов показали, что обработка расплава производится в диапазоне от 1 до 23000гц. Вследствие высоких значений мощности (порядка 100 Дб), интенсифицируется процесс перемешивания, повышаются степень рафинирования металла и усвоение ферросплавов.

Продувка азотом через фурмы данной конструкции благоприятно сказалась и на микроструктуре чугуна. Размер и распределение графита в чугуне изложниц значительно зависит от времени продувки.

Только времени 15 минут, становится достаточно для эффективного удаления крупного спелистого графита.

Как показали исследования, выполненные с помощью высокотемпературного микроскопа ИМАШ 20-78 при 850 ºС, такой графит и является инициатором зарождения трещин в изложницах. Для получения чугуна с благоприятной формой графита рекомендовано продувать чугун для кузнечных изложниц и шлаковых чаш не менее 15 минут, что повышает их стойкость. Увеличение времени продувки с 10 до 15 минут позволяет также увеличить степень усвоения ферросилиция на (7…10)%.

Количество графитовой спели, удаляемой из чугуна при продувке, в атмосфере над продуваемым азотом ковшом с чугуном *Ус*, мг / м³ в зависимости от времени продувки *Т*, мин описывается выражением:

$$Ус = 0.2\ T^2 - 2.36\ T + 28,\ R^2 = 0{,}987. \qquad (6)$$

Выявлено, чем продолжительнее продувка, тем интенсивнее происходит спелеудаление над ковшом. Также выявлено, что при продувке чугуна азотом значительно удаляется титан и ванадий, попадающий в чугун из шихты доменной плавки. Уравнения регрессии по удалению титана ΔTi,% и ванадия ΔV,% в процессе продувки в зависимости от исходного их содержания приведены ниже:

$$\Delta Ti = 0{,}1819\ Ti\ исх^2 + 0{,}3953\ Ti\ исх - 0{,}012,\ R^2 = 0{,}8296, \qquad (7)$$

$$\Delta V = 4{,}8942\ V_{исх}^2 - 0{,}1921\ V_{исх} + 0{,}0022,\ R^2 = 0{,}6128, \quad (8)$$

где R^2 – коэффициент детерминации.

Удаление этих элементов связано с окислением титана и ванадия кислородом, находящимся в техническом азоте, применяемом при продувке, а также с образованием нитридов титана и ванадия, термодинамическая возможность образования которых подтверждается микроструктурным анализом.

Анализ экспериментальных данных и результаты статистической обработки убедительно показывают, что интенсивность удаления титана и ванадия значительно увеличивается при увеличении их исходного содержания выше 0,12%. Превышение этих концентраций отрицательно сказывается и на микроструктуре чугуна из-за образования междендритного графита и цементитной составляющей, ухудшающих термостойкость чугуна. Ввиду этого, для получения изложниц и шлаковых чаш максимальной стойкости, было ограничено содержание этих элементов в чугуне пределом в 0,12%.

Значительного изменения содержания азота в чугуне в процессе продувки чугуна азотом обнаружено не было. Продувка чугуна в заданных режимах значительно повысила плотность и механические свойства чугуна (таблица 3,4).

Таблица 3 – Изменение механических свойств доменного чугуна

Вид обработки	Предел прочности $\sigma_в$, МПа
Продувка азотом методом резонансно-пульсирующего рафинирования	130-170
Без продувки	91-105

Таблица 4 – Изменение газосодержания при продувке чугуна индукционной плавки методом резонансно – пульсирующего рафинирования (*А* – с продувкой, *Б* – без продувки)

Чугун	Предел прочности, МПа	Плотность, Кг/м³	Содержание в чугуне		
			Кислорода, %	Водорода, см³/100г металла	Азота,%
А	200-240	7000-7200	0,002	1,5-4	0,007-0,011
Б	185-195	6890-6900	0,004	2-6	0,0085-0,011

Исследования по оценке влияния данной продувки на газосодержание чугуна, полученного в индукционных печах на шихте с использованием боя отработанных изложниц, выполнялись на 10-тонных ковшах литейного цеха,

где удельный расход продуваемого газа значительно выше, чем в 60-тонных ковшах и продувка чугуна в заданных режимах позволяет значительно снизить газосодержание чугуна (таблица 4). Анализ эксплуатационной стойкости отливок показал, что стойкость изложниц и поддонов, отлитых из чугуна, продутого азотом в данном режиме, повышается более чем на 10%. Данная продувка эффективна при производстве изложниц, так как способствует получению благоприятной перлитной структуры, обеспечивающей приемлемую стойкость изложниц.

Продувка чугуна для отливки шлаковых чаш объемом 12,8 $м^3$ и в настоящее время производится в течение не менее 15 минут. Прочностные свойства чугуна после данной обработки повышаются до уровня (130…170) МПа, что позволяет в перспективе рассматривать данный чугун как конструкционный чугун марок СЧ10, СЧ15.

Столь эффективная технология, как резонансно-пульсирующее рафинирование металла фурмами с пульсатором [10], несомненно, может найти применение и в сталеплавильном производстве. Проработаны вопросы об использовании данных технологий при внепечной обработке и непрерывной разливке в конвертерном цехе. В результате внедрения термовременной обработки значительно (до 300 плавок) повышена эксплуатационная стойкость крышек промежуточных ковшей сортовых МНЛЗ [4] из экономнолегированного чугуна. Предложена схема защиты струи и внепечного рафинирования стали в промежуточных ковшах МНЛЗ в ККЦ-2[11] с использованием воздействия на расплав газодинамических пульсаторов. Сущность предлагаемой технологии заключается в акустическом воздействии газовой струи на струю металла в защитной трубе от сталь - ковша к промежуточному ковшу при непрерывной разливке.

Кроме защиты струи, наложение низкочастотных колебаний в режиме резонанса на металл, находящийся в приемной ванне промежуточного ковша, способствует снижению количества включений, макро - и микронеоднородности расплава. Характер истечения аргона из трубы здесь также несколько иной.

Как показали наши эксперименты и литературные данные [12], возрастающая при такой технологии поверхность взаимодействия позволяет значительно увеличить удельную мощность воздействия на расплав, увеличивается количество мелкодисперсной газовой фазы в промежуточном ковше, тем самым, как свидетельствуют данные работы [12], интенсифицируется рафинирование металла от неметаллических включений.

Выводы.

Таким образом, на комбинате многолетними исследованиями разработаны и внедрены: технология термовременной обработки с деазотацией расплава, технология резонансно-пульсирующего рафинирования с микролегированием чугуна титаном и ванадием, повышена стойкость сменного оборудования: кузнечных и блюминговых изложниц, поддонов, крышек проме-

жуточных ковшей МНЛЗ. Предложены технологические схемы использования пульсирующих струй и на МНЛЗ.

Список использованных источников

1. Эффективность современных способов повышения качества изделий из чугуна и развитие металлургических и машиностроительных предприятий в условиях конкуренции / Д.А. Лубяной, Б.А. Кустов, Н.И. Новиков и др. / Под ред. к.т.н. Лубяного Д.А. и к.э.н. Новикова Н.И. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН. – 2004. – 131 с.
2. Термовременная обработка расплава чугуна / Цепелев В.С., Селянин И.Ф., Лубяной Д.А., Баум Б.А. и др. // Сталь. – 1995. – №5. – С. 42-45.
3. Лубяной Д.А. Результаты внедрения термовременной обработки на предприятиях Кузбасса // Литейщик России. – 2004. – №7. – С. 22-23.
4. Крышки промежуточных ковшей МНЛЗ из экономнолегированного чугуна / Лубяной Д.А., Требинская В.В., Каминская И.А. и др. // Сталь . – 2006. – №5 . – С. 40-41.
5. Поведение азота при плавке чугуна в индукционных печах с кислой футеровкой / Лубяной Д.А., Нейгебауэр Г.О., Цымбал В.П. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1991. – №2. – С. 76-80.
6. Лубяной Д.А. Анализ механизма и кинетики десульфурации чугуна в кислых индукционных печах промышленной и средней частоты // Литейщик России. – 2006. – №12. – С. 22-25.
7. Лубяной Д.А. Применение резонансно-пульсирующего рафинирования для повышения качества изделий из чугуна // Литейщик России . – 2004 . – №7 . – С. 30-32.
8. Влияние режимов внепечной обработки на структуру, литейные и механические свойства фосфористых доменных чугунов / Лубяной Д.А., Синявский И.А., Селянин И.Ф. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2001. – №6. – С. 53-55.
9. Униговский Я.Б. Выбор параметров колебаний при обработке жидких металлов в ковше // Сталь.-1992
10. Патент на ПМ 61710 (РФ) , МПК 8 С21 С5/48. Фурма для продувки металла в ковше / Д.А. Лубяной, В.Г. Переходов, В.П. Комшуков, Ю.Н. и др. - 2006131724/22; Заявл.04.09. 2006; Опубл. 10.03.2007, Бюллетень «Изобретения. Полезные модели».-2007.- .№7.
11. Патент на ПМ 86125 (РФ) , МПК В22 D 11/06. Устройство для защиты струи металла от вторичного окисления при непрерывной разливке / Соколов В.В., Лубяной Д.А., Фойгт Д.Б., Фирсов В.А., Иванов А.Н., Вячкин В.Г. - 2009101632/22; Заявл.19.01. 2009; Опубл. 27.08.2009, Бюллетень «Изобретения. Полезные модели».-2009.- .№24.
12. Г.В. Ефимов Управление процессом рафинирования стали в промежуточном ковше // Сталь . – 2001. – №4 . – С. 24-27.

УДК 669.018

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА В МАЛЫХ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

Лубяной Д.Д., Лубяная С.В.

СибГИУ, г. Новокузнецк
Новокузнецкий филиал институт Томского политехнического университета, г. Новокузнецк

Экономия топливно-энергетических ресурсов, шихтовых материалов, повышение эффективности производства, являются ключевыми вопросами развития металлургии. Широкое внедрение электроплавки чугуна в индукционных печах позволит успешно решать поставленные задачи наряду со значительным повышением качества металлопродукции. Ранее индукционная плавка рассматривалась, главным образом, как переплавной процесс. В настоящее время становится актуальной переработка отходов в литейных цехах или цехе изложниц. В настоящее время в исследовательских подразделениях накоплен значительный научный потенциал и выполнены разработки, позволяющие перерабатывать отходы и некондиционное сырье.

Технология производства термостойких отливок в индукционных печах отработана и в настоящее время в достаточной степени освещена в литературе. При выплавке чугуна в индукционных печах малой емкости требуется адаптация технологии применительно к малым индукционным электропечам. Отличительная особенность индукционных тигельных печей в том, что они представляют собой электромагнитную систему с цилиндрическим многовитковым индуктором, в которой в одном агрегате (тигле) совмещены следующие функциональные процессы: ввод тепловой энергии в шихту, ее расплавление, накопление жидкого металла, его перемешивание и доведение до заданного химического состава и температуры.

В настоящее время на ОАО «Ремонтно-механический завод» в литейном цехе для выплавки чугуна установлены однотонные индукционные сталеплавильные тигельные печи ИСТ 1/0.5М4, выполняющие задачу по производству серого чугуна СЧ20. Серый чугун имеет пластинчатую форму графитовых включений. Изделия из серого чугуна стойко переносят вибрационные напряжения и дешевле изготовленных из стали.

На предприятии для экономии затрат, в качестве шихтовых материалов используют чугунный лом и возврат собственного производства.

Загрузка шихтовых материалов осуществляется персоналом вручную, т.к. объем печи не велик и надобности в лебедках не наблюдается. Особо тяжелые куски (брак, лом) разрешается загружать краном, с мерами предосторожности во избежание разрушения футеровки печи.

Составная часть шихты имеет вид (в % масс): лом чугунный ГОСТ2787 – 76, возврат (брак) – 21, ферромарганец ФМН-1 (ГОСТ4755) – 1, ферросилиций ФС-45 (ГОСТ1415) – 2.

Химический состав чугуна (в % масс): 3.3-3.5 *C*, 0.7-1.0 *Mn*, 1.4-2.4 *Si*, 0.1-0.15 *S*, 0.1-0.2 *P*.

На основе проверенной методики плавки данного сорта чугуна была составлена технологическая инструкция по производству серого чугуна в малых индукционных печах.

Благодаря технологической инструкции, режимами термовременной обработки (ТВО) и заданным составом шихтовых материалов возможно получение нужной продукции с одинаковыми техническими и механическими свойствами и постоянной себестоимостью. А также, на базе изготовленных изделий, возможны дальнейшие разработки по улучшению качества металла и преданию металлу нужных свойств. При отлаженности процесса изготовления данного сорта чугуна снижается риск брака на производстве.

Для получения чугуна с более высокими показателями качества используют десульфурацию чугуна. Ее задача – понизить содержание серы, если ее концентрация в металле превышает 0,03%. Для этого нагревают металл до определенной температуры (1355-1375°С), отключают печь и скачивают шлак. Затем, при сливе металла в разливочный ковш, в печь присаживают небольшое количество извести и плавикового шпата(10-15кг и 2-3кг). По завершении этих операций, печь снова нагревают до температуры расплава (1400-1420°С), затем опять следует отключение печи и скачивание шлака. После этого сливают металл в ковш. Наибольшее влияние на степень десульфурации чугуна оказывает степень заполнения тигля и основность шлака. Это объясняется тем, что с уменьшением заполнения тигля возрастает удельная мощность перемешивания, и это приводит к повышению скорости циркуляции шлакометаллической эмульсии, что и обеспечивает повышение степени десульфурации металла.

С увеличением основности шлака степень десульфурации металла значительно увеличивается. Для обеспечения степени десульфурации металла около 60% необходимо обеспечить основность шлака 1,4…1,5.

На скорость десульфурации наибольшее влияние оказывает степень заполнения тигля и исходное содержание серы в расплаве [1].

На данном этапе производство чугуна ведется согласно технологической инструкции с возможностью термовременной обработки для повышения качественных показателей металла.

Отдельно рассматривая шихтовую основу для выплавки чугуна, заметно содержание металла с неоднородной структурой и различными формами графитовых включений. Получение лома металла из разных источников и без должного анализа, негативно сказывается на производстве. Однако, термовременная обработка позволяет снизить негативное влияние разнородной шихты, стабилизировать свойства готовой металлопродукции. При этом расход электроэнергии существенно не увеличивается. Это связано с тем,

что ТВО проводится только с частью расплава чугуна и после ее проведения происходит присадка холодной металлошихты для снижения температуры расплава до температур, необходимых для выпуска чугуна. Что существенно сберегает энергозатраты предприятия и понижает себестоимость металла. Использование термопары позволяет стабильно попадать в температурный интервал термовременной обработки, во избежание отбела в структуре чугуна, что существенно снижает затраты на механическую обработку.

Устройство индукционных печей позволяет безопасно и качественно изготовить нужный сорт чугуна при наличии нужного количества легирующих добавок, ферросплавов, термопары погружения, химической лаборатории и технологической инструкции. Возможность работы практически на любой металлошихте позволяет успешно осуществлять как переплав, так и выплавлять нужный сортамент металла.

Простота и надежность конструкции позволяют без больших затрат менять футеровку тигля, производить ремонт индуктора и механизма наклона печи, регулировать температурный режим плавки.

В переплавляемом чугунном ломе, наряду с обычными элементами содержится титан и ванадий до 0.3%, что благоприятно сказывается на эксплуатационных показателях термостойких отливок. При отработке состава первоначально составляются группы изделий эксплуатируемых в схожих условиях. В данном случае за основную отливку была выбрана изложница для разливки алюминия. При проведении экспериментальных плавок отбираются пробы на химический анализ не только базовых элементов, таких, как: *C, Mn, Si, P, S*, но и микропримесей, вносимых с шихтой индукционной плавки таких, как: *Cr, V, Ti*. После заливки форм изложниц, изложницы испытывают в реальных условиях производства. При этом, от той части литниковой системы, которая примыкает к изложнице, отбирают пробу для определения микроструктуры чугуна. После проведения испытаний строят зависимости влияния параметров технологии на микроструктуру и эксплуатационные показатели изделий [2].

Снижение содержания [*N*], [*H*] происходит, по-видимому, за счет удаления их с пузырями монооксида углерода из объема ванны при протекании реакции раскисления чугуна, а также восстановления углеродом оксидов футеровки и шлака. Кипение металла, сопровождающее эту реакцию, наблюдается визуально. Анализ зависимости пригара кремния показал, что проведение выдержки свыше 10 минут нецелесообразно из-за разрушения футеровки печи. Таким образом, оптимальное время термовременной выдержки ограничивается 8-10 минутами. Необходимо подчеркнуть, что ТВО расплава производится только при науглероживании стальной составляющей металлошихты.

Чугуны, полученные введением ферросилиция в передельный чугун, смешиванием двух расплавов, имеют меньшее содержание графитовых включений, более благоприятную форму и структуру металлической матрицы, пониженное содержание нежелательных микропримесей и водорода, по-

вышенное содержание азота по сравнению с доменными чугунами, выплавленными по обычной технологии.

Высокомарганцовистые чугуны имеют в своей структуре значительное количество цементита и ледебурита. и уменьшенное количество графита по сравнению с обычным чугуном.

Применение ванадиевого чугуна позволило повысить эксплуатационные показатели изделий и получить изложницы максимальной стойкости. После эксплуатации изложниц образуется чугунный лом, который является отличной шихтой для выплавки чугуна в индукционных печах. При переплаве в индукционных печах ванадий и титан, содержащиеся в чугунном ломе, окисляются лишь частично, основная же часть остается в чугуне, тем самым повышая прочностные и эксплуатационные свойства изготовленных из него отливок. Так, из чугуна индукционной плавки получают изложницы для разливки алюминия, ванны, трубы, заготовки для шестерен.

При наличии оборудования, позволяющего определить химический состав шихты и взвешивающих установок, возможна экономия дорогостоящих ферросплавных лигатур, что объективно положительно сказывается на финансовом положении предприятия. Анализируя исходные данные по нужному химическому составу и определив наличие необходимых элементов в металлошихте, производится расчет для формирования порядка загрузки и массы шихты. При достижении оптимального процентного содержания элементов в шихтовых материалах, дополнительная подача ферросплавов в металл нецелесообразна [3].

Для производства чугуна экономически выгодно заменять дорогостоящий передельный чугун на обрезь механического цеха. С увеличением доли стального лома в шихте возрастают прочностные свойства чугуна, и уменьшается размыв изложниц падающей струей металла. Но, для внедрения в производство этой технологии необходимо сопоставить рациональность данной технологии для конкретного предприятия, т.к. с увеличением доли стального лома в металлошихте растет расход электроэнергии. Это объясняется тем, что для науглероживания стальной составляющей металлошихты и проведения ТВО требуется значительно больше электроэнергии, чем на простой переплав твердого передельного чугуна или боя изложниц [4, 5, 6].

Однако, для снижения времени плавки и уменьшения расхода электроэнергии, практическим путем было выявлено, что при завалке стального лома на чугунное «болото», расход электроэнергии на расплавление шихты существенно не возрастает, а при присыпке графита, процесс науглероживания металла занимает столько же времени, как и при простой плавке чугуна.

На скорость протекания процесса существенно влияет уровень заполнения тигля, благодаря наиболее быстрому времени расплавления стали в «болоте», а также заполнению тигля расплавом на 40%, существенно увеличивается скорость циркуляции расплава, время науглероживания и наведения шлака. ТВО не сказалась на существенной затрате электроэнергии, т.к.

во избежание существенных энергозатрат была присажена после завершения операции перегрева металла холодная металлошихта.

Таким образом, можно сделать заключение по производству отливок в малых индукционных печах: при наличии грамотной и точной схемы плавки, необходимых шихтовых материалов, ферросплавов, лигатуры и оборудования, можно не только выплавлять качественный металл, но и существенно экономить на сырье для улучшения технико-экономических показателей как цеха, так и предприятия в целом.

Данная инновация внедряется в производство.

Список использованных источников

1. Лубяной Д.А., Диянова Е.С. Исследование кинетики десульфурации чугуна в кислых индукционных печах//Современные проблемы электрометаллургии стали: материалы XI Междунар. конференции.-Челябинск: Изд-во ЮУрГУ,2001.- С.74-75.
2. Лубяной Д.А., Требинская В.В., Брыляков В.И., и др.// Металлургия России на рубеже XXI века: Сб. научных тр. Международной научно-практической конференции./ СибГИУ. - Новокузнецк, 2005. Том II.- С.117-122.
3. Новиков Н.И., Быстров В.А., Лубяной Д.А. Стратегическое управление развитием предприятий черной металлургии Западно-Сибирского региона./ Отв. ред.: В.В. Титов, Н.И, Новиков. – Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2006. – 288с.
4. Эффективность современных способов повышения качества изделий из чугуна и развитие металлургических и машиностроительных предприятий в условиях конкуренции / Лубяной Д.А., Кустов Б.А., Новиков Н.И. и др.; Под редакцией к.т.н. Лубяного Д.А. и к.э.н. Новикова Н.И. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2004.-131с.
5. Термовременная обработка расплава чугуна / Цепелев В.С., Селянин И.Ф., Лубяной Д.А., Баум Б.А. и др. // Сталь. – 1995. – №5. – С. 42-45.
6. Лубяной Д.А. Результаты внедрения термовременной обработки на предприятиях Кузбасса // Литейщик России. – 2004. – №7. – С. 22-23.

УДК 378.018.4:004.588

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ермакова Л.А., Шендриков А.Е.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Внедрение современных информационных технологий в образование привело к появлению новых образовательных технологий и форм обучения, базирующихся на электронных средствах обработки и передачи информа-

ции. В настоящее время уже невозможно назвать дисциплину, в обучении которой, так или иначе, не применялись бы компьютеры, электронные издания или ресурсы. Более того, создание образовательных электронных изданий определено в качестве одного из основных направлений стратегии информатизации всех форм и уровней образования в России.

Сегодня имеется большое количество различных компьютерных средств обучения: электронные учебники и задачники, виртуальные лабораторные практикумы, системы контроля знаний. Для разработки электронных образовательных ресурсов используются различные компьютерные среды и компьютерные программы, в том числе математические пакеты. Вопросы создания мультимедийных электронных учебников и электронных учебно-методических комплексов (ЭУМК) находятся в центре внимания и активно обсуждаются ещё и по тому, что сегодня не только не существует универсальной технологии разработки ЭУМК, но и отсутствую соответствующие стандарты.

Как правило, каждый ВУЗ применяет собственную технологию проектирования учебных материалов и создания ЭУМК исходя из собственного видения того, каким должен быть электронный учебник, какие структурные компоненты должно входить в состав ЭУМК, какие формы представления информации должны использоваться. Данная статья обобщает опыт создания электронных учебно-методических комплексов для дистанционного обучения (ДО) в Сибирском государственном индустриальном университете.

ЭУМК для ДО должен включать весь необходимый для самостоятельного обучения материал, в том числе: программу дисциплины, методические указания по изучению дисциплины и подготовке к различным видам занятий, электронный учебник (учебное пособие), средства поддержки практических и лабораторных занятий, средства поддержки выполнения расчетных заданий и курсовых проектов, средства проверки знаний.

В отличие от печатного издания, электронный комплекс должен разрабатываться таким образом, чтобы он смог обеспечить:

– *гипертекстовую структуру* теоретического материала в структуре изложения (последовательность, взаимосвязь частей), а также ссылки на термины, поясняющую информацию и т. д.;

– *мультимедийное представление учебной информации* – разнообразных рисунков и картинок, анимации, видео- и аудиофрагментов и т. д.;

– *интерактивность* – возможность интегрирования различных сред представления информации, таких как текст, статическая и динамическая графика, видео и аудио записи, в единый комплекс, позволяющий обучаемому стать активным участником учебного процесса, поскольку выдача информации происходит в ответ на его действия;

– *использование различных технологий контроля и оценки полученных знаний,* встроенных в электронный учебник (тесты, упражнения, индивидуальные задания и др.).

Поэтому создание эффективного электронного учебно-методического комплекса это сложный процесс, в котором можно выделить два ключевых технологических этапа.

1. Предварительный этап – подготовка и разработка содержательной части ЭУМК (контента). Это творческий процесс, который трудно формализуем, не поддается автоматизации (хотя и выполняется с использованием компьютера), а поэтому требует больших затрат времени от авторов на разработку курсов.

2. Компьютерный этап, на котором осуществляется представление подготовленных учебных материалов в электронном виде как для сети Интернет (для открытого дистанционного обучения), так и для CD-версии.

В целом, разработка компьютерных средств обучения - достаточно сложная и трудоемкая работа. Так как преподавателю (создателю мультимедиа) требуются не только профессиональные знания, ему необходимо иметь знания в области информационных технологий, также многие другие знания и навыки, совершенно далекие от его основной профессии. Поэтому такой проект в нашем университете выполняется авторским коллективом, который состоит из авторов-предметников и программистов.

Программистами университета были проанализированы существующие технологии и инструментальные средства для разработки компьютерных средств учебного назначения. На основе проведенного анализа осуществлен выбор технологии создания электронных учебно-методических комплексов для системы дистанционного обучения. В качестве базовой была выбрана Интернет-технология, основанная на языках HTML, XML и Java, JavaScript, CSS. В этом случае учебный комплекс реализуется как web-приложение, исполняемое с помощью браузера. Достоинством этого подхода является многоплатформенность и унификация технологических решений. На основе выбранной технологии был разработан шаблон ЭУМК определяющий интерфейс комплекса, структуру и формат содержимого, методику внедрения интерактивных и мультимедиа элементов.

Для создания эффективного электронного учебника авторы-предметники должны учитывать не только требования, предъявляемые к учебно-методическим комплексам, но и обладать определенными знаниями и умениями по технологии подготовки материала для ЭУМК. Поэтому для подготовки преподавателей будущих авторов содержательной части ЭУМК в университете были разработана программа повышения квалификации: «Преподавание в сети Интернет и технология подготовки материалов для электронного учебно-методического комплекса» объемом 72 часа. Более 70 преподавателей прошли обучение по данным программам повышения квалификации и освоили современные технологии необходимые для первичной обработки и подготовки учебного материала для электронных учебно-методических комплексов системы дистанционного обучения.

По нашему мнению, именно благодаря удачно составленным образовательным программам была реализована главная цель – оказание методиче-

ской и технологической помощи авторам, принимающим участие в подготовке и разработке учебных материалов для ЭУМК.

Основные этапы создания электронного учебно-методического комплекса заключаются в следующем.

Составление педагогического сценария: это довольно трудоемкий процесс, так как на этом этапе преподавателю необходимо выделить и зафиксировать в электронном виде возможные траектории обучения. На этом этапе необходимо четко определить содержание учебного материала и цели обучения, сформировать требования к уровню усвоения материала, обеспечить четкую преемственность различных тем. Содержательная часть учебного материала должна быть очень хорошо структурирована (для электронных учебников требуется более детализированное структурирование текста, т.е. точное выделение структурных единиц – разделов (модулей), тем, пунктов и подпунктов). Материал должен быть изложен ясно, с четкой ориентацией на уровень профессиональной подготовленности обучаемого. Главная задача автора-предметника – это обеспечить максимально высокую понимаемость учебного материала.

Выбор приёмов повышения наглядности учебного материала на основе мультимедийных технологий: при использовании электронных средств обучения необходимо пересмотреть уже сложившиеся в печатной литературе способы подачи материала с целью переноса максимального акцента на динамизм изложения и включение визуальных элементов в виде графиков, гистограмм, анимации и др.

Разработка технологического сценария: это описание информационных технологий, используемых для реализации педагогического сценария. В технологическом сценарии, как и в педагогическом, также реализуется авторский взгляд на содержание и структуру курса, его методические принципы и приемы его организации. Однако в технологическом сценарии упор делается на пользовательский интерфейс – визуальное представление материала и приемы организации доступа к информации разного уровня. На первом уровне излагается основная учебная информация, выстроенная по принципу причинно-следственных связей. Сложные смысловые места и понятия необходимо сопровождать примерами в форме анимации или иллюстрации. На втором уровне размещается дополнительная информация, которая помогает более глубоко осветить излагаемый вопрос или содержит справочные данные. В большинстве случаев двух (реже трех) уровней изложения учебного материла вполне достаточно. Для удобства последующей компьютерной верстки, в частности отслеживания связей и переходов между уровнями информации создается графическое представление технологического сценария в виде графа.

Программная реализация: на этом этапе программисты переводят предоставленные материалы в формат электронного учебно-методического комплекса. Текстовая часть подвергается минимальной необходимой обработке – назначении соответствующих CSS-стилей. Значительные трудоза-

траты этого этапа заключаются в создании и вставке необходимых мультимедийных фрагментов на основе описательных сценариев авторов, а также в физической расстановке необходимых связей.

Тестирование ЭУМК: это обязательный этап, включающий опытную эксплуатацию продукта, в процессе которой анализируются как программные, так и содержательные компоненты продукта, проверяются все возможные связи, переходы и т. д. По результатам опытной эксплуатации исправляются все технические, программные и содержательные дефекты.

Для защиты от несанкционированного доступа созданных ЭУМК используются как по отдельности, так и совместно следующие механизмы: глобальная защита по паролю; активация; установка предельной даты возможного запуска; запрет использования функций копирования и печати.

В 2009-2010г.г. в университете были созданы 20 электронных учебно-методических комплексов по дисциплинам, закрывающим первый курс учебных планов, выбранных для реализации по дистанционной технологии обучения. В настоящее время более 500 студентов обучающихся дистанционно осваивают учебные дисциплины по электронным учебно-методическим комплексам, разработанным в университете.

УДК 519.876.5:658

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Милованов М.М.

СибГИУ, г. Новокузнецк

В современном быстроразвивающемся высокотехнологичном мире любая организация, будь то крупный промышленный комбинат, малая инновационная компания, образовательное учреждение стремятся увеличить свои производственные показатели, в большинстве случаев это доход компании, выраженный в денежном эквиваленте. Но чтобы максимизировать свою прибыль, нужно быть конкурентоспособным. А для этого, в свою очередь, нужно увеличивать качество продукции, удовлетворяя тем самым потребности конечного потребителя. Качество продукции или услуги напрямую зависят от процессов протекающих в организации, т.е. бизнес-процессов.

Моделирование бизнес-процессов – это метод, позволяющий дать оценку текущей деятельности предприятия по отношению к требованиям, предъявляемым к его функционированию, управлению, эффективности, конечным результатам деятельности и степени удовлетворенности клиента. Моделирование позволяет предвидеть и минимизировать риски, возникающие на различных этапах реорганизации деятельности предприятия.

Основываясь на прикладной значимости моделирования процессов предприятия, сформулируем теоретическую основу для моделирования бизнес-процессов. Из множества подходов к моделированию воспользуемся методом имитационного моделирования. Система имитационного моделирования деятельности предприятия должна обладать следующими свойствами:

– методами и средствами проведения структурного анализа системы и протекающих в ней процессов;

– способностью одновременного моделирования материальных, денежных и информационных процессов;

– возможностью использования программы имитационного моделирования совместно с экономико-математическими моделями и методами теории управления;

– возможностью интеграции имитационной модели в информационную систему предприятия с целью получения исходных данных для моделирования и использования модели в составе системы управления.

При построении имитационной модели деятельности предприятия требуется высокий уровень детализации выполнения функциональных действий. При этом сама имитационная модель часто используется для поиска узких мест в системе. Предлагаемый метод имитационного моделирования деятельности предприятия логически приводит к декомпозиции системы на компоненты, процессы и активности и позволяет обеспечить очень важное в подобной ситуации сходство структуры модели и объекта исследования на основе процессного способа формализации. Реализация метода включает в себя следующие основные этапы:

1. формализацию объекта исследования;
2. построение имитационной модели;
3. программирование и отладку модели;
4. испытание и исследование модели;
5. эксплуатацию модели.

Процесс моделирования является итерационным. На каждом этапе возможен возврат на предыдущие этапы для корректировки и уточнения их результатов.

Формализация объекта исследования является наиболее ответственным этапом и состоит из следующих шагов:

– составление содержательного описания объекта исследования;

– составление концептуальной модели;

– составление формального описания.

Целью составления содержательного описания является получение информации о системе в объеме, необходимом для построения имитационной модели. Требуется эффективная форма ее представления, помогающая рассуждать о предметной области. Этим требованиям отвечает методология IDEF0. Стандарт описания бизнес-процессов предприятия с использованием IDEF0 широко распространен в России и в мире. За счет простоты и строгости описания деятельности предприятия IDEF0-модели используются для

описания предметной области при внедрении систем менеджмента качества, при проведении обследования деятельности, при проектировании информационной системы [1].

Результатом применения методологии IDEF0 является функциональная модель. Главные компоненты этой модели – диаграммы, использующие простую систему обозначений, в которой функция представляется в виде блока. Взаимодействия блоков друг с другом описываются посредством интерфейсных дуг, выражающих ограничения, которые определяют, когда и каким образом функции выполняются. Место соединения дуги с блоком определяет тип интерфейса: управляющая информация входит в блок сверху; информация и объекты, которые подвергаются последующей обработке, – с левой стороны блока; результаты выполнения операции показаны выходящей дугой с правой стороны блока; механизмы (по терминологии IDEF0), представляющие собой средства выполнения функции, изображаются дугами с нижней стороны блока. Используемые обозначения показаны на рисунке 1.

Рисунок 1 – Базовая схема обозначений для представления содержательного описания системы

Важной особенностью методологии IDEF0, обеспечивающей эффективность ее применения для составления содержательного описания, является постепенное введение все больших уровней детализации по мере создания диаграмм. Поэтому IDEF0 может быть использована не только как средство эффективного представления содержательного описания системы, но и для ее изучения и анализа выполняемых ею функций. При этом исключается влияние организационной структуры системы на ее функциональную модель.

Основным назначением шага составления концептуальной модели является переход от содержательного описания к математической модели. Концептуальная модель объекта моделирования представляется в виде,

изображенном на рисунке 2. Здесь $\overline{X}$ – вектор изменяемых параметров моделирования; $\overline{G}$ – вектор задаваемых параметров, значения которых устанавливаются перед началом моделирования и в дальнейшем не изменяются; $\overline{Z}$ – вектор неуправляемых параметров, их значения определяются на основе измерений или оценок; $\overline{Y} = \Phi\left(\overline{X}, \overline{G}, \overline{Z}\right)$ – вектор выходных параметров (откликов), входящих в состав функции качества; $\{ST_i\}$ – множество статистик моделирования; $\{S_i\}$ – множество состояний объекта моделирования.

Рисунок 2 – Графическое представление концептуальной модели

Концептуальная модель в указанном представлении составляется отдельно для каждого элемента и для всей системы в целом. Основой для этого служит функциональная модель, построенная на этапе составления содержательного описания. При этом элементам системы соответствуют блоки, а параметрам – дуги, представленные на диаграммах нижнего уровня.

На шаге составления формального описания модель представляется в виде набора процессов с заданными алгоритмами функционирования. При этом уточняется декомпозиции системы и производится алгоритмизация элементов модели. Каждому элементу ставится в соответствие отдельный процесс. [2]

Основываясь на теоретической базе описанной выше, была проведена научно-исследовательская работа, целью которой являлось разработать программное обеспечение для визуального моделирования процессов организации и проведения анализа эффективности взаимодействия между процессами. В рамках научно-исследовательской работы был разработан визуальный интерфейс, позволяющий в графическом виде представлять структуру организации, декомпозировать процессы на подпроцессы, выполнять функционально-стоимостный анализ.

Моделирование процессов в разрабатываемой программе базируется на методологии IDEF0. Функциональная модель, разработанная в методологии IDEF0, представляет собой схему обрабатывающих функций и стрелок. Функция показывает, каким образом входная информация преобразуется в

выходную информацию, с помощью каких механизмов и что для каждой функции является управлением [3].

Структура IDEF0-модели представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются блоки, соединенные направленными дугами. Пример описания процесса «Ремонтировать автомобиль» представлен на рисунке 3.

Рисунок 3 – Диаграмма процесса «Ремонтировать автомобиль»

На данном этапе разработки программного обеспечения реализованы основные визуальные компоненты, выделены классы для взаимодействия с пользователем. Реализация функционала для построения математических моделей для бизнес-процессов позволит смоделировать весь цикл рабочего процесса организации.

Список использованных источников

1. Замятина О.М. Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. №6. стр. 180-186.
2. Якимов А.И., С.А., Альховик. Имитационное моделирование в ERP-системах управления. – Мн.: Бел. наука, 2005. – 197 с
3. Марка Д., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования: Пер. с англ. – М.: МетаТехнология, 1993. – 210 с.

УДК 662.6/.8

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА И РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРЕНИЯ СУСПЕНЗИОННОГО УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Ермакова Л.А.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Проблемы переработки отходов углеобогащения и создания новых ресурсосберегающих технологий являются актуальными для Кемеровской области. Одним из вариантов переработки отходов углеобогащения является их сжигание в виде водоугольных суспензий, что позволяет обеспечить использование всего добытого угля по его прямому назначению. Водоугольные суспензии (суспензионное угольное топливо) содержат от 28 до 50 % воды и представляют собой равномерную смесь очень мелких частиц угля и воды. Для понижения вязкости водоугольных суспензий и придания им стабильности в них вводится небольшое количество реагента-пластификатора. В результате образуется искусственная дисперсная система, представляющая собой новый вид энергетического топлива получаемого из угля – композиционное водоугольное топливо (ВУТ).

Большой вклад в исследование процесса горения водоугольных суспензий и в развитие теории горения ВУТ внесли фундаментальные работы Г.Н. Делягина [1–4], В.М. Иванова и Б.В. Канторовича. Дальнейшее развитие представлено в трудах А.Г. Онищенко[3], В.В. Исаева, Т.Н. Бутильковой [4], В.И. Мурко [5] и др.

Для понимания механизма горения ВУТ необходимо учитывать, что сжигание водоугольных суспензий в топочном объеме производится путем распыления их в потоке воздуха. При этом образуются капли суспензии размером от $0{,}05\cdot10^{-3}$ м до $0{,}2\div0{,}3\cdot10^{-3}$ м. Число частиц угля в капле составляет несколько тысяч размером от 0 до $0{,}2\cdot10^{-3}$ м. Количество частиц угля в массе суспензии от $0{,}1\cdot10^{-3}$ м до $0{,}2\cdot10^{-3}$ м не превышает 1÷2 % [1]. В каждой капле суспензии сохраняется первоначальный ее состав. Причина сохранения при распылении всех исходных характеристик водоугольных суспензий состоит в том, что в этих смесях, представляющих собой структурированные системы очень мелких частиц угля и воды, внешние и внутренние силы сцепления намного превосходят инерционные силы, дополнительно возникающие при распылении вследствие разности плотностей воды и угля. Они сохраняют свою структуру в распыленном состоянии, когда это топливо впрыскивается через форсунку в топочный объем камеры сгорания. При распылении суспензий даже при применении ротационных форсунок сепарации твердых частиц и воды не происходит [2].

Как показали лабораторные исследования, проведенные Г.Н. Делягиным[3], горение капли водоугольной суспензии протекает одно-

временно с испарением влаги из ее внутренней части, причем испарение влаги не замедляет процесса горения углерода, а, наоборот, увеличивая поверхность реакции, ускоряет процесс горения. Вырывающиеся из внутренней части капли струи пара активизируют горение на поверхности капли. В результате одновременного течения этих двух процессов капля суспензии превращается в пористое тело, что обеспечивает интенсивный контакт с кислородом и быстрое полное догорание углерода.

Исследование условий совместного протекания процессов испарения воды и выгорания капли водоугольной суспензии, представленные в работе [2], показали, что в общем случае при испарении влаги из капли топлива можно выделить два этапа. На первом этапе испарение влаги протекает при переменной температуре поверхности, причем температура поверхности ниже температуры воспламенения топлива. На втором этапе капля воспламеняется, и температуру можно считать постоянной. В ходе исследований было установлено, что время полного испарения наиболее мелких капель суспензии (соизмеримых с размером твердых частиц, заключенных в них) определяется первой стадией испарения, во время которой непрерывно возрастает температура поверхности. Для капель топлива диаметром $0{,}2 \div 0{,}4 \cdot 10^{-3}$ м испарение проходит через две стадии, причем вторая стадия, протекающая при одновременном выгорании топлива с поверхности капли, является по времени определяющей.

Испарение влаги из капли в основном протекает параллельно с горением углерода топлива, поэтому все твердые частицы, заключенные в капле, проходят через ее раскаленную поверхность, где углеродные частицы выгорают, а минеральная часть спекается, образуя прочный пористый агломерат. Так как во время выгорания капли с поверхности зона испарения воды распространяется на внутренние слои капли, там развивается повышенное давление, в результате чего размер капли увеличивается. К концу испарения влаги в капле суспензии из угля марки Г выгорает около 50% угля. При этом капля увеличивается в 3 раза, и ее средняя пористость (в пересчете на беззольное топливо) составляет около 98% [4].

По мере выгорания топлива из-за вращения капли при движении в потоке воздуха твердые частицы отбрасываются к внешней поверхности капли, в результате чего внутри капли образуется полое пространство. При этом толщина стенки агломерата зависит от зольности исходного топлива и может достигнуть размера исходных зольных частиц ($\delta_{ст} \approx 90$ мк).

Таким образом, вода является не только промежуточным окислителем углерода (в виде водяного пара), но и катализатором, активизирующим углеродную поверхность, уменьшающим энергию активации реакции углерода с кислородом воздуха и снижающим температуру воспламенения этого топлива по сравнению с температурой воспламенения сухого угля.

В.И. Мурко и его учениками разработана модель распыления и сжигания суспензионных угольных топлив [5], согласно которой при распылении ВУТ образуются как чисто угольные частицы («капли-частицы» крупнее

$0{,}80 \div 1 \cdot 10^{-3}$ м), с которых за счет сил гидродинамического трения срывается жидкая пленка с наиболее тонкими частицами, так и водоугольные капли, состоящие из тонких частиц угля и жидкой фазы. Механизм распыления при этом осуществляется следующим образом. Движущиеся капли подвергаются воздействию сил трения окружающей среды, которые стремятся расплющить и раздробить капли. Напротив, силы поверхностного натяжения стремятся придать каплям сферическую форму. Когда давление сил трения больше давления силы поверхностного натяжения, происходит дробление капель, при этом диаметр капель ВУТ существенно зависит от поверхностного натяжения, плотности среды и относительной скорости движения капли.

При моделировании процесса сжигания капель водоугольной суспензии диаметром $0{,}2 \div 0{,}3 \cdot 10^{-3}$ м за основу принят механизм горения, предложенный Г.Н. Делягиным [1] и заключающийся в следующем.

Распыленные капли водоугольной суспензии в потоке воздуха, попадая в высокотемпературную окислительную среду, сначала подсыхают с поверхности (стадия поверхностного испарения влаги), затем зона испарения влаги проходит внутрь капель, образуя на поверхности высокопористый прочный конгломерат частиц угля с высоким термическим сопротивлением. Это приводит к тому, что уже в начальный период испарения влаги в массе капли суспензии в зоне испарения происходят процессы на поверхности угольных частиц, снижающие энергию активации их реакции с кислородом. Задолго до завершения испарения влаги температура образовавшегося на поверхности капли агломерата угольных частиц достигает температуры воспламенения, что приводит к воспламенению угольных частиц в агломерате.

Влага суспензии из центральных районов капли, диффундируя к поверхности, переносит частицы угля к ее периферии так, что к концу процесса испарения вместо капель образуется ксеносфера (полая сфера) процесс горения которой завершается образованием аналогичной ксеносферы, но состоящей только из частиц золы угля суспензии. Влага топлива, проходя сквозь зону горения, активно участвует в реакции с углеродом: $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$, а образующиеся продукты реакции в присутствии водяного пара полностью догорают вокруг поверхности образовавшегося агломерата капли.

Капля водоугольной суспензии, включающая большое число мелких частиц твердого топлива, попав в высокотемпературную окислительную среду, мгновенно подсыхает с поверхности, в результате чего внутри капли образуются следующие характерные зоны (рисунок 1).

1 зона – это зона исходного топлива (суспензии), температура которой равна температуре кипения воды или более низкая.

2 зона – это зона испарения влаги топлива, ширина которой определяется изотермическими поверхностями начала и конца кипения воды. Процессы, протекающие в этой зоне, сопровождаются выделением ранее сорбированных угольной поверхностью газообразных продуктов окисления угля (CO_2) и обнажением угольной поверхности.

1–зона исходного топлива (суспензии); *2*–зона испарения влаги топлива; *3*–зона перегрева водяных паров, термического разложения угля и начала интенсивной реакции углерода с водяным паром; *4* – зона поверхностного горения угля и разложения водяного пара; *5*–зона объемного догорания продуктов промежуточных реакций; O_2 – поле концентрации кислорода, *T* – поле температур, $H_2O_ж$. – поле распределения влаги, H_2O – поле концентраций перегретого пара по радиусу агломерата капли

Рисунок 1 – Схема выгорания капли водоугольной суспензии по зонам

3 зона – это зона перегрева водяных паров, термического разложения угля и начала интенсивной реакции углерода с водяным паром.

4 зона – это зона поверхностного горения угля и разложения водяного пара.

5 зона – это зона объемного догорания продуктов промежуточных реакций.

Данный механизм выгорания распыленной водоугольной суспензии подтвержден лабораторными исследованиями, проведенными в Институте горючих ископаемых по сжиганию водоугольных суспензий [4]. В опытах Г. Н. Делягина, В. В. Исаева, где изучался прогрев капель малых диаметров (до $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ м), предполагалось и подтвердилось экспериментально, что температура по сечению капли практически одинакова. С увеличением размера капли предположение о ее изотермичности становится неправомерным. В экспериментальных исследованиях горения капель более крупного размера замечен значительный градиент температур по сечению капли. При испарении воды и выходе летучих в каплях суспензии диаметром $0{,}4\text{-}2 \cdot 10^{-3}$ м сильно развивается внутриобъемная поверхность, в результате чего идет внутрипористое окисление топлива с взрывным выделением и горением летучих, после чего происходит догорание коксового остатка. При исследовании было установлено, что время горения коксового остатка велико по сравнению с остальными фазами процесса. Сравнение скорости горения водоугольной суспензии с предварительно подсушенными каплями водоугольной суспензии, показало, что при одной и той же температуре коксового остатка массовая скорость горения капли выше, чем предварительно высушенной суспензии. Это связано как с частичным взаимодействием углерода (наряду с кислородом) с парами воды (парокислородная газификация), так и с развитием

окислительной поверхности вследствие микровзрывного характера горения из-за интенсивного испарения воды.

Таким образом, процесс горения распыленного водоугольного топлива делится на неизотермическую (неравновесную) и изотермическую (квазиравновесную) стадии [1]. На первой стадии происходит испарение воды из капли и образование капиллярно-пористого агломерата. На этой же стадии начинаются реакции на поверхности частицы при активном участии водяного пара: газификация одновременно с выгоранием летучих. Эта стадия заканчивается, когда температура поверхности частицы (или агломерата) становится близкой к температуре несущего газового потока и далее меняется вместе с ней. Параллельное протекание процесса испарения влаги топлива и процесса выгорания углерода приводит в известной степени к унификации всех каменных углей, поскольку выход летучих уже не определяет реакционную способность этого топлива и мало влияет на температуру воспламенения угля.

Для оценки максимального времени горения капель ВУТ, определим время сгорания частиц угля в зависимости от размера частиц и температуры среды.

Механизм реагирования углерода с кислородом представляется следующим образом [6-7]. Из газового объема кислород адсорбируется на поверхности углерода. На ней атомы кислорода вступают в химическое соединение с углеродом, образуя сложные углеродно-кислородные комплексы C_xO_y. Последние распадаются с образованием CO_2 и CO, скорость распада сильно увеличивается с ростом температуры. Получающаяся углекислота может реагировать с твердой фазой, образуя CO, а окись углерода, получаемая как в первичном, так и во вторичном процессах реагирования, вступает в химическое соединение с кислородом в газовой фазе. В соответствии с этим запишем основные реакции:

$$C + O_2 = 2CO, \tag{1}$$

$$C + O_2 = CO_2, \tag{2}$$

$$CO_2 + C = 2CO, \tag{3}$$

$$2CO + O_2 = 2CO_2. \tag{4}$$

Реагирование протекает на поверхности частицы топлива сферической формы; частица движется с одинаковой скоростью вместе с газовой средой; горение выделяющихся летучих и догорание продуктов неполного сгорания происходит в объеме газовой среды. Конвективный перенос тепла из системы и лучистый теплообмен отсутствуют; теплообмен реагирующих частиц с газовой средой происходит путем конвекции.

В начальный момент времени газовая среда имеет температуру, значительно превышающую температуру частицы. Частица топлива восприни-

мает тепло газовой среды конвекцией и нагревается. При этом из нее возгоняются летучие. Выделяющиеся летучие могут реагировать в газовой фазе, а твердая коксовая масса – в гетерогенном режиме. В большинстве случаев для реальных топливных частиц прогрев и горение летучих – довольно быстрые процессы и составляют по времени не более 10% по сравнению со временем горения коксового остатка, что позволяет пренебречь ими в расчетах времени горения твердых частиц топлива. В соответствии с рассмотренным механизмом горение на основе уравнений теплового и материального баланса получили следующую математическую модель.

Моделирование прогрева частицы твердого топлива: кинетику прогрева частицы можно описать балансовым уравнением:

$$m_к c_к \frac{dT_к}{d\tau} = \alpha_к S(T_g - T_к), \tag{5}$$

где $m_к$ – масса частицы, кг;
$S = \pi\delta^2$ – площадь, частицы, м^2;
$c_к$ – коэффициент теплоемкости частицы, кДж/(кг·К);
$\alpha_к$ – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К);
$T_к$, T_g – температура частицы и газа, К;
τ – время, с.

Для сферических однородных частиц, введя критерий Нуссельта $\mathrm{Nu} = \alpha_к\delta/\lambda_g$, получим:

$$\frac{dT_к}{d\tau} = \frac{6\mathrm{Nu}\lambda_g}{c_к\rho_к\delta}(T_g - T_к), \tag{6}$$

где $\rho_к$ – плотность частицы, кг/м^3;
λ_g – коэффициент теплопроводности газа, кДж/(кг·К).

Интегрирование уравнения (6) и преобразование с учетом критериев Био и Фурье позволяют определять текущую температуру частицы:

$$T_к = T_g - (T_g - T_{к0})\cdot\exp(-3\cdot\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo}), \tag{7}$$

где $\mathrm{Bi} = \alpha_к\delta/2\lambda_к$ – критерий Био;
$\mathrm{Fo} = 4\lambda_g\tau/c_к\rho_к\delta^2$ – критерий Фурье.

Тогда полное время прогрева можно описать соотношением:

$$\tau \le 0{,}384\frac{c_к\rho_к\delta^2}{\mathrm{Nu}\lambda_g}\lg\left(1 - \frac{Q}{Q_{мах}}\right), \tag{8}$$

где $Q_{мах} = m_к\cdot c_к\cdot(T_g - T_{к0})$ – максимальное количество тепла, которое может быть поглощено частицей (за бесконечное время);

Q – количество тепла, которое поглощает частица к моменту времени τ.

Моделирование горения частицы твердого топлива: в основу расчета горения коксового остатка частицы твердого топлива положено уравнение баланса массы, записанное в виде скорости уменьшения диаметра сферической частицы:

$$\frac{d\delta}{d\tau} = \frac{2\mu}{\rho_к} G, \tag{9}$$

где $\mu = 0{,}012$ – молекулярная масса углерода, кг/моль;

G – скорость выгорания углерода, моль/м^2·с.

Время горения частицы от начального размера δ_0 до текущего размера δ найдем, проинтегрировав уравнение (9):

$$\tau = -\frac{1}{2\mu} \int_{\delta_0}^{\delta} \frac{\rho_к}{G} d\delta. \tag{10}$$

Скорость выгорания углерода определим по следующему соотношению:

$$\frac{dG}{d\tau} = C \cdot k^{/} \cdot e^{-\frac{E}{RT}}, \tag{11}$$

где C – концентрация;

$k^{/}$ – суммарная константа скорости реакции учитывающая кинетику реакции (k) и интенсивность массообмена газовой среды с поверхностью частицы (β) $\frac{1}{k^{/}} = \frac{1}{k} + \frac{1}{\beta}$;

E – энергия активации, КДж/моль.

Для мелких частиц коэффициент массообмена определяется из критерия Шмидта [7]:

$$\mathrm{Sh} = \frac{\beta \cdot \delta}{D} \approx 2, \tag{12}$$

где D – коэффициент диффузии.

Полное время горения выразим из (10) с учетом (11):

$$\tau = \int_{0}^{\delta_0} \frac{\rho_к}{\chi C_0 k^{/}} d\tau, \tag{13}$$

где χ – стехиометрический фактор, учитывающий соотношение оксидов углерода у поверхности частицы и догорание CO в пограничном объеме газа;

C_0 – концентрация кислорода в газовой среде.

После интегрирования и преобразования с учетом уравнения (12) получили:

$$\tau = \frac{\rho_к \delta_0^2}{8\chi C_0 D}\left[1 + \frac{4D}{k_0 \delta_0 e^{-\frac{E}{RT}}}\right]. \qquad (14)$$

Для зольных углей, когда в углероде содержится A % золы, выражение (14) принимает вид:

$$\tau = \frac{100 - A}{100} \cdot \frac{\rho_к \delta_0^2}{8\chi C_0 D}\left[1 + \frac{4D}{k_0 \delta_0 e^{-\frac{E}{RT}}}\right]. \qquad (15)$$

Расчет времени сгорания частиц угля проводили для частиц диаметром от $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ м до $\cdot 10^{-3}$ м и при температуре среды от 1200 °С до 1400 °С. Результаты расчета времени сгорания частиц угля в зависимости от температуры среды и размера частиц приведены на рисунке 2.

Рисунок 2 – Зависимость времени сгорания частиц угля от температуры среды и размера частиц

Анализ результатов показывает, что увеличение температуры газа с 1200 °С до 1400 °С приводит к значительному сокращению времени сгорания, так время горения крупных частиц диаметром $2 \cdot 10^{-3}$ м в зависимости от

температуры изменяется от 6,4 до 1,05 с. Вместе с тем, горение мелких частиц диаметром до $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ м в рассматриваемом диапазоне температуры не превышает 1,5 с. Полученные результаты позволяют формировать требования к температуре среды и времени пребывания частиц в топке для полного сжигания топлива.

Список использованных источников

1. Делягин Г. Н. Вопросы теории горения водоугольной суспензии в потоке воздуха / Делягин Г. Н. // Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий: сборник. – М.: Наука, 1967. – С.45-55.
2. Делягин Г. Н. Об условиях совместного протекания процессов испарения воды и выгорания капли водоугольной суспензии / Делягин Г. Н. // Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий: сборник. – М.: Наука, 1967. – С.55-67.
3. Делягин Г. Н. Сжигание водоугольных суспензий из донецких тощих углей в топке промышленного парового котла / Делягин Г. Н., Кирсанов В. И., Онищенко А. Г., Гладкий А. И. // Новые методы сжигания топлив и вопросы теории горения. - М.: Наука, 1969. - С.40-51.
4. Бутылькова Г. Н. Зола и шлак при сжигании водоугольных суспензий / Бутылькова Г. Н., Делягин Г. Н. // Новые методы сжигания топлив и вопросы теории горения. - М.: Наука, 1969. - С.58-64.
5. Мурко В. И. Физико-химические основы водоугольного топлива / В.И. Мурко, В. И. Федяев, В. А. Хямяляйнен; под общ. ред. В. И. Мурко; РАЕН; ГУ КузГТУ. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2009. – 195 с.
6. Виленский Т. В. / Динамика горения пылевидного топлива / Виленский Т.В., Хзмалян Д. М. // -М.: Энергия, 1978. – 248с.
7. Винтовкин А. А. Технологическое сжигание и использование топлива / Винтовкин А. А., Ладыгичев М. .Г., Голдобин Ю. М., Ясников Г. П. // – М.: Металлургия, 1998. -292с.

УДК 669.046:519.876

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Оленников А.А., Падалко А.Г.

СибГИУ, г. Новокузнецк

В настоящее время известно много способов утилизации тепловой энергии – технологический, энергетический, комбинированный. Однако выбрать конкретный вариант – весьма не простая задача. Необходимо знать цели использования утилизируемых вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), а также выполнить емкие сравнительные расчеты. Одним из наиболее

перспективных способов выбора оптимального варианта утилизации ВЭР является их моделирование на лабораторной установке с применением ЭВМ. Это дает возможность глубоко изучить режимы работы совместно работающих агрегатов, существенно сократить трудоемкость при строительстве реального объекта, исключить массу ошибок при проектировании и оценки.

Для решения поставленных задач сотрудниками кафедры информационных технологий в металлургии, Сибирского индустриального университета было принято решение создать лабораторную установку (рисунок 1) для исследования процессов газодинамики и теплообмена, при различных технологических режимах. Основой лабораторной установки явился новый металлургический агрегат типа СЭР (самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор) [1-3] с возможностью подключения к нему энергоутилизаторов различного назначения.

В зависимости от технологического режима установки в подогревателе воздуха 1 настраивается требуемая температура воздуха (окислитель и топливо), поступающего по соединительным каналам *a* в реактор-осциллятор 6. Для контроля расхода воздуха на канале *a* предусмотрены балансировочной кран с электроприводом 2 и электронный расходомер 3. В баке-аккумуляторе для воды 4 присутствует подогреватель воды (сырья), а на соединительном канале *b* необходимая для контроля арматура. Таким образом, в реактор 6 по каналам *a* и *b* через имеющиеся на концах сопла (находящиеся в одной плоскости) подается под давлением вода и воздух, где при взаимодействии потоков газа и жидкости происходит эффективное перемешивание последних и образуется ядро в виде мелкодисперсной газовзвеси. Свойства этого образовавшегося ядра в зависимости от технологического режима можно изменять при помощи установленной арматуры 5 на соединительных каналах *a* и *b*. Благодаря эффекту критического стечения двухфазной жидкости через эффект аэродинамического запирания соединительного канала создается высокий потенциал давления. Так как агрегат и все стоящие за ним устройства утилизации энергии изолированы от атмосферы, возникает возможность продувки отходящего газа через все находящиеся за агрегатом устройства без использования механического побудителя давления газа. Здесь используется работа расширения реакционных газов, что пока не сделано ни в одном из известных в мире металлургических агрегатах.

В результате взаимодействия воды и подогретого воздуха в реакторе 6 создается определенное давление и температура. Эти параметры отслеживают датчики, находящиеся на посадочных местах *x* и *y*. Образовавшаяся газовзвесь по соединительному каналу 7 поступает в рафинирующий отстойник 8. В этом агрегате при постановке эксперимента визуально наблюдается три зоны: накопление воды (копильник для восстанавливаемого металла); плотная пена (плотная газошлаковая эмульсия типа сильновспененного конвертерного или мартеновского шлака в слое, прилегающем к металлу); легкая пена (взвешенный над предыдущей зоной достаточно высокий слой пенистой газошлакометаллической эмульсии).

1 – подогреватель воздуха; 2 – балансировочный кран с электроприводом; 3 – электронный расходомер; 4 – бак-аккумулятор для воды; 5 – ручной балансировочный кран; 6 – реактор-осциллятор; 7,9,10,11,12,14,15,17,19 – соединительные каналы; 8 – рафинирующий отстойник; 13 – реактор-гранулятор; 16 – котел-утилизатор; 18 – аппарат кипящего слоя. *X* – посадочные места для датчиков давления; *Y* – посадочные места для датчиков температуры; *Z* – посадочные места для подовой и купольной решетки аппарата кипящего слоя; *i, j* – температуры входа и выхода теплоносителя котла-утилизатора

Рисунок 1 – Принципиальная схема лабораторной установки низкотемпературного автоматизированного эксперимента

В нижней части рафинирующего отстойника 8 предусмотрен сливной канал 9 с ручным балансировочным краном 5 и электронным расходомером 3 использующийся для отвода воды (металла). С боковых сторон агрегата 8 также предусмотрены посадочные места для датчиков температуры и давления. Образовавшаяся таким путем (в третьей зоне) легкая пена совместно с находящимся в агрегате газом поступают по соединительному каналу 10 в реактор-гранулятор 13. Таким образом, в нижней части реактора образуется рыхлая пена (шлак), которая по соединительному каналу 14 удаляется из агрегата. Поступающий из рафинирующего отстойника 8 в реактор-гранулятор 13 отходящий газ транспортируется по соединительному каналу 15 в котел-утилизатор 16, где происходит отдача теплоты от отходящего газа к теплообменным контурам котла-утилизатора, которые представляют собой сложный теплотехнический аппарат, состоящий из двух барабанов и теплообменных контуров *а, б, в* (рисунок 2). В этих теплообменных устройствах отдача теплоты от газа к стенкам элементов котла осуществляется путем конвекции и излучением (сложный теплообмен) [4]. При этом важно заметить, что максимальную тепловую нагрузку испытывают первые ряды пучков агрегата.

а – пароперегреватель, *б* – испарительные секции, *в* – водяной экономайзер

Рисунок 2 – Составляющие котла-утилизатора

По водяным контурам агрегата 16 осуществляется циркуляция охлаждающей воды, в результате чего отбирается тепловая энергия от труб котла. На лабораторной модели интенсивность циркуляции воды можно также регулировать при помощи балансировочных кранов, что повлияет на температуру, выходящую из котла газа.

По соединительному каналу 17 отходящий газ поступает в аппарат кипящего слоя 18, который в общем виде состоит из трех основных частей: подовой и купольной решеток, цилиндрического корпуса. Такие аппараты изготавливают в основном под конкретно поставленную задачу (скорости движения материалов, времени пребывания материала, скорости перемешивания и др.). Достоинство псевдоожиженных систем – высокая интенсивность теплообмена между слоем и омываемыми им поверхностями. Особенно высокие значения коэффициентов теплообмена даже при осуществлении процесса псевдоожижения в обычных условиях достигаются в слоях мелко-

дисперсных частиц. В ходе эксперимента могут варьироваться следующие параметры: расход, скорость и давление газа, конструктивные параметры кипящего слоя (диаметр колонны, площадь живого сечения решеток), вид и масса загружаемого материала. Загрузка сырья осуществляется через верхнюю боковую часть аппарата кипящего слоя, выгрузка готового продукта (или отработанного материала) – из нижней части агрегата. Подача отходящего газа от технологического агрегата осуществляется в нижнюю часть аппарата кипящего слоя, через газораспределительную решетку.

Весьма интересна в таких агрегатах гидродинамическая картина, которая зависит от множества факторов. В общем случае к ним относятся скорость газа, соответствующая началу псевдоожижения, скорость газа, при которой начинается вынос частиц из слоя, высота псевдоожиженного слоя, порозность и плотность слоя в состоянии псевдоожижения, степень расширения слоя, высота надслоевого пространства, гидравлическое сопротивление слоя. Одной из наиболее важных гидродинамических характеристик процесса псевдоожижения является минимальная скорость псевдоожижения или скорость начала псевдоожижения. В зависимости от технологического режима на термограммах (рисунок 3 а, б) показано, с увеличение расхода, а соответственно и скорости продуваемого газа наблюдается прорыв газовых пробок через слой частиц и соответственно происходит неравномерное вскипание слоя. Дальнейшее увеличение давления приводит к повышению однородности кипящего слоя, в котором резко уменьшается размер пузырей. Поддержание такого режима имеет ряд преимуществ, основным из которых является равномерный теплообмен между газом и поверхностью частиц, что подтверждается рисунком 3, в. Этому варианту соответствует более равномерный прогрев слоя.

а – прорыв газовых пробок; *б* – неравномерное кипение слоя; *в* – стабильное поведение слоя

Рисунок 3 – Режимы продувки газа через материал в аппарате кипящего слоя

Одной из важных задач моделирования является исследование потерь напора, создаваемого в основном агрегате в зависимости от вида подключаемых устройств утилизации.

При движении газов по каналам, элементам энергоутилизирующих устройств и системам газоочистки вследствие трения и по другим причинам некоторая часть механической энергии потока необратимо превращается в тепловую. Другими словами, наблюдается диссипация энергии, в результате чего уменьшается полное давление движущейся среды, при этом часть тепловой энергии рассеивается в окружающем пространстве, а часть остается в потоке, изменяя его внутреннюю энергию. Эта безвозвратно потерянная часть энергии для какого–либо участка системы характеризует гидравлические потери, которые могут быть определены по известному закону Дарси, что открывает возможность сравнения результатов физического и математического моделирования.

Низкотемпературное физическое моделирование использовано для наиболее важного случая оценки пропускной способности подсоединяемых к основному технологическому агрегату теплоиспользующих аппаратов, прежде всего для случая, когда в подсоединяемой системе используется агрегат кипящего слоя. Эти агрегаты типовыми не являются. Процессы в них существенно зависят от ряда параметров, таких как гранулометрический состав, порозность слоя и т.д. Агрегаты такого типа требуют для поддержания слоя значительного перепада давления и, следовательно, оказывают большое влияние на пропускную способность всего газового тракта. В связи с указанным для решения этой важной задачи и было использовано физическое моделирование газодинамики и теплообмена в системах подсоединяемых аппаратов.

Перенос этих результатов на реальные системы базируются, с одной стороны, на указанные выше дополнительные положения о подобии сложных систем, с другой стороны перенос, результатов для отдельных элементов может осуществляться через критерий газодинамического подобия, то есть через число Рейнольдса $Re = w \cdot d/\nu$, которое дает связь между скоростями протекающих процессов и сечениями подключаемых элементов. Эта задача является весьма важной при синтезе схем энергоутилизации.

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. I. Термодинамический подход к самоорганизации: Учеб. пособие. Под редакцией В.П. Цымбала/СибГИУ – Новокузнецк, 2004.–180 с.
2. Цымбал В.П., Мочалов С.П., Калашников С.Н. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. В 3–х.: Ч. II. Формальное описание эволюции и самоорганизации: Учеб. пособие. Под редакцией В.П. Цымбала / СибГИУ – Новокузнецк, 2004.–298 с.

3. 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 редакцией В.П. Цымбала / СибГИУ – Новокузнецк, 2005.–264с.
4. Оленников А.А., Цымбал В.П. Математическая и физическая модели котла–утилизатора и агрегата кипящего слоя применительно к струйно–эмульсионному реактору типа СЭР / Изв. Вузов. Чер. металлургия. – 2009, №8. С. 43–51.

УДК 669:519.876:5

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР УТИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Оленников А.А., Цымбал В.П.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Традиционная металлургия и энергетика, базирующаяся на органическом топливе, достигли определенного предела возможности дальнейшего качественного совершенствования. Сквозной КПД исходного топлива на металлургических комбинатах полного цикла составляет около 20 %, а в топливной энергетике – 37 %, т.е. около двух третей энергии исходного топлива выбрасывается в окружающую среду.

Несколько лучшие показатели имеют технологические схемы прямого восстановления (бескоксовой металлургии), где развивается два технологических направления: твердо- и жидкофазное восстановление. Следует подчеркнуть, что в первом из этих направлений (например, шахтные печи «МИДРЕКС» [1]) повторяется та же самая нелогичность (с точки зрения глобальной экономии энергии), что и в традиционной (коксо-агло-доменной) технологии: сырье дробится для обогащения, затем окомковывается. И подается в плавильный агрегат. При этом реакционная поверхность уменьшается в десятки и даже сотни раз. Окомкованный материал требует большого времени пребывания, что приводит к большим объемам агрегатов и значительным капитальным и энергетическим затратам.

При жидкофазном восстановлении имеется возможность устранить эту нелогичность и использовать большую реакционную поверхность пылевидных материалов, однако остается свойственный прямому восстановлению недостаток – большие потери химического и физического тепла с отходящими газами.

Попытки использовать хотя бы часть этого тепла в самом технологическом агрегате, например, путем дожигания *CO* над шлаком, как это пытались делать в процессе «РОМЕЛТ» [1], не дали положительных результатов, так как при этом ухудшаются технологические показатели (степень восстановления). Определенных успехов в решении этой задачи удалось добиться в

процессе «КОРЕКС» за счет подключения к технологическому агрегату теплоэнергетических установок: парового котла, паровой и газовой турбин. Благодаря этому «КОРЕКС» [1, 2] стал конкурентоспособен с доменным процессом. Однако из-за комбинации твердофазного восстановления с жидкофазным этот агрегат является достаточно громоздким и весьма капиталоемким.

В предлагаемой статье предпринята попытка решить аналогичную проблему применительно к струйно-эмульсионному агрегату типа СЭР [3]. В связи с тем, что в этом агрегате рабочая смесь (газовзвесь или эмульсия) полностью замкнута от атмосферы и находится под повышенным давлением, облегчается задача подключения к технологическому агрегату теплоиспользующих устройств. При этом не требуется специальных побудителей расхода для проталкивания потока отходящих газов через теплоутилизирующие устройства и можно гибко управлять перераспределением энергии между основным технологическим агрегатом и теплоутилизирующими устройствами.

Современная энергетика знает достаточно способов утилизации энергии отходящих газов. Наибольший интерес представляет комбинированный, так как появляется возможность использовать энергию газов более эффективно. При таком способе тепловые отходы технологических камер используют как для внутреннего регенеративного, так и для внешнего теплоиспользования. Полученная тепловая энергия может использоваться очень широко как в самом процессе (подогрев сырья, окислителей, шихты), так и во внешнем теплоиспользовании (рисунок 1).

КУ – котел–утилизатор; ПШ, ПО и ПТ – подогреватели шихты, окислителя и топлива; $t_{х.т.}$ и $t_{г.т.}$ – температура топлива на входе и выходе; $t_{х.о.}$ и $t_{г.о.}$ – температура окислителя на входе и выходе; $t_{х.ш.}$ и $t_{г.ш.}$ – температура шихты на входе и выходе, $t_{у.г}$ – температура отходящих газов; $G_{тхн}$ и $G_э$ – выход технологической и энергетической продукции

Рисунок 1 – Комбинированная схема использования энергии отходящих газов металлургических агрегатов

Выбор конкретного варианта утилизации является сложной оптимизационной задачей как в структурном, так и в параметрическом плане. При этом необходимо знать цели использования утилизируемых вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), а также выполнить большие сравнительные расчеты.

Метод прямой аналогии.

В рассматриваемом подходе к моделированию сложных систем в основу закладывается поэлементно–физическая постановка задачи, анализ и синтез системы по ее отдельным составным частям. Этот подход носит также название метода прямой аналогии [5].

Адекватность построенных таким образом сложных моделей, базируется на дополнительном положении о подобии сложных систем, сформулированном В.А. Вениковым в развитие первой теории подобия [6]. Это положение гласит: две или несколько независимых подсистем (a', b' и т.д.) по отдельности подобны двум другим подсистемам (a'',b"и т.д.), то есть $a' \cong a''$, $b' \cong b''$, будучи сходственным образом соединены через третьи системы (c, d) образуют две новые сложные системы (A, B), которые будут подобны, если только соединяющие их системы подобны друг другу, то есть $c \cong d$, то $A \cong B$ (рисунок 2).

Рисунок 2 – Подобие сложных систем

В рассматриваемой работе мы имеем дело, по крайней мере, с тремя уровнями сложных систем, собираемых из подсистем.

Первый уровень: процессы в отдельных конструктивных элементах теплоиспользующих агрегатов (пучках труб, соединительных каналах и т.д.). Здесь в качестве элементарных систем рассматриваются процессы сложного теплообмена между тепловоспринимающими элементами и средами, процессы трения газа о стенки и т.п., которые описываются фундаментальными физическими законами, справедливость этих законов считается доказанной, а конечный результат зависит от используемых сочетаний и соединений.

Второй уровень: теплоутилизирующие агрегаты в целом. Они состоят из описанных выше конструктивных элементов. И, следовательно, вид сложной системы этого (второго) уровня зависит от сочетания и способа соединения отдельных конструктивных элементов (систем первого уровня). Примерами сложных систем второго уровня являются: котлы–утилизаторы,

газовые турбины, агрегаты кипящего слоя и т.п. В большинстве случаев эти агрегаты выпускаются серийно.

Третий уровень составляют комбинации описанных выше агрегатов, набор которых осуществляют по критерию максимального теплоиспользования.

Таким образом, при последовательном применении указанного дополнительного положения адекватность получаемых сложных систем из подсистем нижнего уровня (прежде всего качественную) можно считать доказанной. Настройка же конкретных параметров, особенно для агрегатов второго уровня, естественно возникнет, но только после реализации проектных решений.

Оптимизация структур.

Структура процесса моделирования и выбора оптимальных вариантов утилизации энергии представлена на рисунке 3.

Рисунок 3 – Структура выбора оптимальной схемы утилизации тепловой энергии

Для реализации этой структуры разработан программный продукт «SKV_Sapr», в среде Borland Delphi, с использованием объектно-ориентированного подхода, когда для описания каждой модели разрабатывается отдельный класс.

Такой подход позволяет с одной стороны изолировать внутри класса все специфические свойства и методы расчета, реализуемые в модели, а с другой стороны предоставить стандартизированный интерфейс для взаимо-

действия с данной моделью. Применение данного подхода позволяет экспортировать результаты расчета одной модели на вход другой, что в свою очередь позволяет выстраивать произвольные цепочки из моделей в любой их разумной комбинации и с наименьшими затратами разрабатывать новые модели на основе существующего базового класса.

Моделирование процесса энергоутилизации включает в себя две основные подзадачи:

1. выбор системы моделей энергоутилизирующих устройств с описанием их конструктивных характеристик (шаги и диаметры труб котла–утилизатора, расстояние от стенок труб до поверхности газового канала, диаметр колонны кипящего слоя, высота слоя и т.д.);
2. оптимизация по сквозному коэффициенту использования энергии отходящих газов с учетом конструктивных характеристик теплоутилизаторов, то есть определение оптимальной схемы с максимальным коэффициентом использования тепловой энергии и ограничением по капитальным затратам.

Программный комплекс.

В задачу программного продукта входит: компоновка схемы утилизации энергии отходящих газов; конструктивный расчет теплоэнергетических установок, используемых в схеме; расчет количества тепла, воспринятого установками энергоутилизации; оценка потерь давления по газовому тракту, включая энергоутилизаторы; расчет физических параметров отходящих газов на каждом участке газового тракта; поиск оптимального варианта теплоэнергетической установки и всей схемы с участием эксперта; выдача технической документации и рекомендаций по проектированию.

При этом были реализованы следующие классы: *TKotel*, *TKs*, *TGt*, *TCikl*, *TGrCikl*, *TEf*, *TKonvers*, *TSush* – реализующие решения уравнений сложного теплообмена и газодинамики энергетических установок; *TGazK*, *THeatK* – реализующий решение уравнений газовой динамики и теплообмена по газоходам; *TOptimiz* – для поиска оптимального варианта. В составе программного пакета присутствуют модели теплоэнергетических установок, используемые в современном проектировании, модели сложного теплообмена, газодинамики, а также модель для поиска оптимального варианта по заданному критерию [7].

На рисунке 4 представлена схема взаимодействия пользователя с программным продуктом. На начальном этапе моделирования, задаются технические условия и выходные параметры отходящего газа металлургического агрегата: состав, расход, давление, температура. В соответствии с названием проекта создаются рабочие файлы и формируются пути к ним. Далее выполняется компоновка схемы энергоутилизации, при этом возможно обращение к базе данных с целью выбора предлагаемого варианта, рассчитанного ранее, либо конструирования нового. Далее вычисляют термодинамические параметры отходящего газа на основе известных термодинамических законов и

приступают к описанию и вводу необходимых данных для теплоэнергетических установок.

Рисунок 4 – Структура потока данных SKV_Sapr

При этом возможно обращение к расширяемой базе данных, которая содержит, нормативную, конструкторскую, теплофизическую и энергетическую документации стандартных моделей, предлагаемых заводом-изготовителем, либо сконструировать самостоятельно. По завершению ввода данных выполняются расчеты и выводятся результаты по текущей установке по ходу движения газов. Организация структуры баз данных формируется исходя из следующих соображений: адекватность описываемому объекту/системе – на уровне концептуальной и логической модели; удобство использования для ведения учёта и анализа данных.

Полученные результаты оцениваются экспертом, если необходимо вносятся необходимые изменения в конфигурации установки и выполняются перерасчеты. Далее приступают к проектированию последующих установок. По завершению работы над последним энергоутилизатором, находящимся в схеме, выполняется расчет, по результатам которого определяют окончательные конструкторские параметры установок, возможное усвоение ими тепловой энергии, потери давления на каждом участке схемы, определение термодинамических параметров газа и его калорийности. Введено понятие сквозного коэффициента использования тепловой энергии, который также определяется по комплексному расчету схемы. Полученное значение этого коэффициента дает возможность оценить степень использования энергии от-

ходящих газов, при этом добиваются его максимизации, применяя известные методы оптимизации с установленными ограничениями.

Выводы.

Использование данного программного комплекса позволяет сократить затраты времени на проектирование, а использование технологий баз данных дает возможность накапливать проектные решения и производить мгновенные перерасчеты с измененными параметрами. Программный продукт можно использовать не только для целей проектирования и научных исследований, но также в качестве обучающей системы для технологического персонала.

Список использованных источников

1. Курунов И.Ф., Савчук Н.А. Состояние и перспективы бездоменной металлургии железа. – М.: Черметинформация, 2002. – 198 с.
2. Эберле А., Зиука Д., Бем К., и др. // Черные металлы. 2003. № 11. С. 59 – 64.
3. Цымбал В.П., Мочалов С.П., Шакиров К.М. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 6. С. 60 – 65.
4. Оленников А.А. Программный комплекс для моделирования вариантов утилизации энергии от агрегата типа СЭР / Оленников А.А., Цымбал В.П. // Системы управления и информационные технологии. – 2009. Вып. 2.2(36). – С. 277–280.
5. Тетельбаум И.М., Тетельбаум Я.И. Модели прямой аналогии. – М.: Наука, 1979. – 834 с.
6. Веников В.А. Теория подобия и моделирования: учебное пособие для вузов. 2–е изд. М.: высшая школа, 1976. – 480С.
7. Оленников А.А. Варианты и оценка эффективности использования вторичных энергоресурсов для агрегатов жидкофазного восстановления / Оленников А.А., Цымбал В.П. // Изв. Вузов. Чер. металлургия. – 2008, №6. – С. 43–51.

УДК 519.876.5:621.77

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕЛЬСОВОГО ПРОКАТА

Буинцев В.Н.

СибГИУ, г. Новокузнецк

В настоящее время одним из главных, производимых на НКМК товаров является рельсовый прокат. Для строительства действительно качественной и надежной железной дороги необходимы качественные рельсы. Одним из показателей качества рельсов является твердость поверхности головки рельса. Твердость стального проката зависит от многих параметров

(химический состав стали, условия прокатки, закалка и др.). Результаты обработки рельсов с целью повышения твердости рабочей поверхности определяется с помощью специальных механических испытаний. Для этого образец готовой продукции (кусок рельса) подвергают механическому испытанию на специальной установке. Наиболее распространенным методом определения твердости является испытание по Бринеллю, когда шарик высокой твердости вдавливается в испытуемую поверхность с известной силой P, и, по величине отпечатка, оставленного шариком на испытуемой поверхности определяется показатель твердости. Каждое испытание требует изготовления образца, который затем уходит в металлолом, а также оборудования для испытания и обработки результатов. Все это в конечном счете требует значительных затрат времени и средств.

В настоящей работе предложена методика построения математических моделей, описывающих зависимость показателей качества рельсовой стали (в частности твердости) в зависимости от химического состава исходной заготовки.

Железнодорожные рельсы изготавливаются из специальных сталей с концентрацией углерода 0,69 - 0,82 % [*C*] с добавлением легирующих элементов кремний, марганец, хром, никель, ванадий. После прокатки рельсы подвергают термической обработке - закаливанию. Химический состав каждой плавки, выплавленной в сталеплавильном агрегате в рамках дозволенных интервалов, отличается друг от друга, в результате каждая партия рельсов имеет свои прочностные характеристики. Для определения этих механических свойств для каждой партии рельсов необходимо производить специальные испытания, которые требуют длительного времени и определенных финансовых затрат.

Под твердостью понимается свойство поверхностного слоя материала сопротивляться упругой и пластичной деформации или разрушению при местных контактных воздействиях со стороны другого, более твердого и не получающего остаточной деформации тела (индентора) определенной формы и размера. Эта формулировка пригодна не для всех существенных методов оценки твердости. Разнообразие этих методов и разный физический смысл чисел твердости затрудняют выработку общего определения твердости как механического свойства. В разных методах и при различных условиях проведения испытания числа твердости могут характеризовать упругие свойства, сопротивление малым или большим пластическим деформациям, сопротивление металла разрушению.

Во всех методах испытания на твердость очень важно правильно подготовить поверхностный слой образца. Он должен по возможности полно характеризовать материал, твердость которого необходимо определить. Все поверхностные дефекты (окалина, выбоины, вмятины, грубые риски и т.д.) должны быть удалены. Требования к качеству испытуемой поверхности зависят от применяемого индентора и величины прилагаемой нагрузки. Чем меньше глубина вдавливания индентора, тем выше требуется чистота по-

верхности и тем более строго нужно следить чтобы свойства поверхностного слоя не изменились вследствие наклепа или разогрева при шлифовании и полировке.

При стандартном (ГОСТ 9012 - 59) измерении твердости по Бринеллю стальной шарик диаметром *D* вдавливают в испытуемый образец под приложенной определенное время нагрузкой *P*; после снятия нагрузки измеряют диаметр оставшегося на поверхности образца отпечатка (рисунок 1).

Рисунок 1 – Схема напряженного состояния в зоне пластической деформации (заштрихована) при определении твердости по Бринеллю

Диаметр отпечатка получается тем меньше, чем выше сопротивление материала образца деформации, производимой индентором. Число твердости по Бринеллю (*HB*) есть отношение нагрузки *P*, действующей на шаровой индентор диаметром *D* к площади *F* шаровой поверхности отпечатка:

$$HB = P / F = \left[\frac{\pi D}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \right], \qquad (1)$$

тогда

$$HB = P / D^2 \left[\frac{2/\pi}{1 - \sqrt{1 - (d/D)^2}} \right]. \qquad (2)$$

Площадь отпечатка определяется и по глубине вдавливания индентора *h* (без снятия нагрузки): $F = \pi D h$.

При определении твердости по Бринеллю шариком с $D = 10$ мм под нагрузкой $P = 30$ кН и времени выдержки $\tau = 10$ с число твердости записывают так: *HB* 400, *HB* 250, или *HB* = 30000 МПа. При использовании других условий испытания индекс *HB* дополняют цифрами, указывающими диаметр использованного шарика, мм, нагрузку, кгс, и продолжительность выдержки, с. Например, *HB* 5/750/30-350 – это число твердости по Бринеллю (350), полученное при вдавливании шарика с $D = 5$ мм нагрузкой $P = 750$ кгс (7500 *H*) в течение $\tau = 30$ с.

Твердость по Бринеллю определяют при помощи шарового индентора диаметром 2,5; 5 или 10 мм. Инденторы изготавливают из стали с твердостью не менее 8500 МПа. Методом Бринелля можно испытывать материалы с твердостью от *HB* 8 до *HB* 450. При большей твердости образца шарик-индентор остаточно деформируется на величину, превышающую стандартизированный допуск.

Для построения математической модели, описывающей зависимость твердости рельсового проката от химического состава стали, были использованы данные лабораторных исследований по твердости поверхности рельсов в условиях ОАО НКМК для периода с 20 ноября по 8 декабря 2001 г. Фрагмент сведений о номерах плавок, химического состава выплавленной стали и твердости поверхности готового проката приведены в таблице 1. Общая выборка имеет более 50 опытов.

Таблица 1 – Данные лабораторных исследований по твердости поверхности рельсового проката

Дата	№ плавки	Химический состав рельсовой стали, %										
		HB 8	[*C*]	[*Mn*]	[*Si*]	[*P*]	[*S*]	[*Cr*]	[*Ni*]	[*Cu*]	[*Al*]	[*V*]
20.11.01	24509	352	0,76	0,8	0,37	0,01	0,006	0,09	0,06	0,11	0,01	0,09
20.11.01	24511	352	0,73	0,82	0,31	0,012	0,005	0,06	0,05	0,1	0,01	0,06
20.11.01	11747	363	0,75	0,81	0,33	0,02	0,006	0,09	0,09	0,1	0,01	0,07
22.11.01	24531	363	0,75	0,82	0,35	0,011	0,007	0,06	0,06	0,1	0,01	0,07
22.11.01	11770	363	0,73	0,78	0,29	0,013	0,005	0,07	0,06	0,09	0,01	0,07
23.11.01	24540	363	0,76	0,86	0,32	0,013	0,005	0,09	0,05	0,09	0,01	0,07
23.11.01	24541	363	0,74	0,83	0,27	0,013	0,005	0,07	0,05	0,08	0,01	0,08
24.11.01	24551	363	0,74	0,85	0,35	0,012	0,007	0,07	0,06	0,11	0,01	0,08
24.11.01	11791	352	0,75	0,92	0,33	0,012	0,005	0,05	0,05	0,1	0,01	0,08
02.12.01	11881	363	0,77	0,85	0,37	0,019	0,006	0,09	0,06	0,09	0,01	0,07
02.12.01	24623	363	0,76	0,88	0,36	0,013	0,005	0,04	0,04	0,07	0,01	0,08
08.12.01	11950	363	0,74	0,81	0,34	0,021	0,005	0,06	0,05	0,07	0,01	0,07

Уравнение зависимости твердости поверхности рельсов от химического состава стали принято в виде уравнения, приведенного ниже (3):

$$HB8_{ф} = a_0 + a_1\,[C] + a_2\,[Mn] + a_3\,[Si] + a_4\,[Cr] + a_5\,[V] + a_6\,[C][Mn] + \\ + a_7\,[C][Si] + a_8\,[C][Cr] + a_9\,[C][V] + a_{10}\,[Mn][Si] + a_{11}\,[Mn][Cr] + \\ + a_{12}\,[Mn][V] + a_{13}\,[Si][Cr] + a_{14}\,[Si][V] + a_{15}\,[Cr][V] \qquad (3)$$

Целевой функцией при определении значений коэффициентов $a_0 - a_{15}$ служила сумма ошибок моделирования (см. рисунок 2), а искомыми параметрами являлись значения коэффициентов. Расчеты производились методом подстраиваемой модели с использованием встроенного в Excel оптимизатора «Поиск решения».

Рисунок 2 – Схема метода подстраиваемой модели

В результате проведенных расчетов по схеме подстраиваемой модели (рисунок 2) получены значения коэффициентов, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициентов модели

A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
341,3193	934,7438	-473,848	-862,987	-1095,77	297,869	-1019,64
A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
-185,353	479,337276	715,33689	2379,641	3575,496	1945,573	-6543,02

Таким образом, математическая модель зависимости твердости поверхности рельсового проката от химического состава стали имеет следующий вид:

$$HB8_ф = 341{,}3193 + 934{,}7438\,[C] + -473{,}848\,[Mn] + -862{,}987\,[Si] + \\ + -1095{,}77\,[Cr] + 297{,}869\,[V] + -1019{,}64\,[C][Mn] + -185{,}353\,[C][Si] + \\ + 479{,}337276\,[C][Cr] + 715{,}33689\,[C][V] + 2379{,}641\,[Mn][Si] + \\ + 3575{,}496\,[Mn][Cr] + 1945{,}573\,[Mn][V] + -6543{,}02\,[Si][Cr] \qquad (4)$$

Математическая модель может быть использована для прогнозирования и оптимизации твердости поверхности готового проката по химическому

составу стали. При этом проведение дорогостоящих лабораторных испытаний можно сократить до минимума. Кроме того, используя эту математическую модель для решения задачи поиска оптимального химического состава можно добиться повышения качества проката без проведения большого количества производственных экспериментов. В таблице 3 приведены результаты исследования математической модели на предмет поиска оптимального химического состава рельсовой стали, обеспечивающего максимально возможную твердость рельсового проката. В качестве критерия оптимизации использовалось значение твердости поверхности проката, рассчитанное по математической модели, а изменяемыми параметрами являлись концентрация химических элементов в готовой стали при ограничениях по изменению этих элементов в пределах дозволенных ГОСТом.

Таблица 3 – Оптимальный химический состав рельсовой стали

C	*Mn*	*Si*	*P*	*S*	*Cr*	*Ni*	*Cu*	*Al*	*V*	*HBm*
0,78	0,76	0,26	0,01	0,009	0,04	0,09	0,13	0,014	0,05	375,7

Как видно из таблицы 3, при выплавке рекомендуемого химического состава стали можно добиться серьезного повышения качества рельсового проката.

УДК 621.365.2

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА, РЕАКТИВНОСТЬ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧИ

Огнев А.М.

ООО «Сибэлектротерм – Автоматизированные системы, комплексы»,
г. Новосибирск

В научно-технической литературе посвященной электродуговым металлургическим установкам и агрегатам довольно широко описаны такие явления, как электрическая дуга и реактивность. К одной из наиболее полных работ можно отнести издание Г.А. Сисояна «Электрическая дуга в электрической печи» [1]. Довольно популярными были и остаются работы Свенчанского А.Д., Смелянского М.Я., Маркова Н.А. Серьезный вклад в изучение этого вопроса внес Хаинсон А.В. Наибольший интерес вызывает Сборник научных трудов ВНИИЭТО Математическое моделирование и расчет дуговых и плазменных сталеплавильных печей [2]. К сожалению, во времена, когда научный потенциал нашей страны был широко ориентирован на изучение данных вопросов, не было достаточного технического вооружения для реализации своих идей, проверки гипотез в тех масштабах, в которых заслуживает этот вопрос.

Такая возможность появилась сравнительно недавно. Этому способствовало появление серийно производимых колец Роговского, позволяющих измерять мгновенные значения токов на стороне низкого напряжения печного трансформатора, и новых линеек высокопроизводительных контроллеров, позволяющих обрабатывать эти данные в режиме реального времени.

Ниже приведен ряд осциллограмм снятых с действующих объектов.

Рисунок 1 – Осциллограммы токов и напряжений на печи ДСП-30 г. Ярцево, период проплавления колодцев (напряжение 310В, ток 28 кА, cos φ ≈ 0.65)

Рисунок 2 – Осциллограммы токов и напряжений на печи ДСП-30 г. Ярцево, период работы на жидкой ванне с закрытой под шлаком дугой (напряжение 250В, ток 25 кА, cos φ ≈ 0.92)

Рисунок 3 – Осциллограммы токов и напряжений на печи РКО-10,5ФХР г. Челябинск (напряжение 200В, ток 17 кА, cos φ ≈ 0.93)

Рисунок 4 – Осциллограммы токов и напряжений на печи РКО-25ФС г. Братск (напряжение 105В, ток 80 кА, cos φ ≈ 0.83)

Как видно из рисунка 1 в начальный период проплавления колодцев дуговой разряд носит прерывистый характер. В литературе такой разряд принято называть «маломощной дугой». Такой дуговой разряд отличается крайней нестабильностью амплитудных значений токов не только на малых промежутках времени (100 мс), но и в один период (50Гц или 20 мс). Ток в дуговом разряде возникает не сразу после появления напряжения, а лишь после определенного порогового значения, называемого напряжением зажигания дуги. Причинами такого прерывистого горения дуги являются: низкая эмиссионная способность электродов и шихты вследствие их низких температур, холодная атмосфера печи, замедляющая скорость ионизации частиц. Наличие высших гармоник в осциллограммах напряжений связано с посто-

янно меняющимся расстоянием дугового разряда за полупериод (расплавление, разбрызгивание и испарение металла вследствие действия высокой плотности тока на локальные участки металлошихты), а также в виду того, что электрически цепь является трехфазной и изменение тока и напряжения в одной фазе влечет за собой изменение в других фазах. В этот период приборы регистрирующие коэффициент мощности печи (cos φ) могут показывать значения от 0,55 до 0,7.

В классической электротехнике cos φ это отношение активной мощности к полной, а сам угол φ характеризует величину угла сдвига фаз между напряжением и током, это также угол между активной и реактивной составляющей напряжения или мощности. Однако, из рисунка 1 видно, что кривые тока и напряжения по крайней мере «сходятся» практически в одной точке, то есть ярковыраженного смещения тока относительно напряжения нет.

Таким образом, напрашивается вывод: дуга проявляет себя как реактивный элемент электрической цепи. Однако, в литературе 60-80х годов о дуге говорится, как о чисто активном элементе. И все расчеты основаны на этом тезисе.

Расчет cos φ производится по формуле:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{\int_0^{2\pi} i(t)\cdot u(t)dt}{U\cdot I} = \frac{\int_0^{2\pi} i(t)\cdot u(t)dt}{\int_0^{2\pi} u(t)dt\cdot\int_0^{2\pi} i(t)dt}. \qquad (1)$$

Этот же алгоритм реализуется аппаратно в измеряющих приборах.

Анализируя рисунки 1 – 3, легко заметить «наклонность» кривых напряжений и токов. Напряжения «наклоняются» влево, токи «наклоняются» вправо. Таким образом, если рассматривать полупериод, пиковые значения напряжения смещены влево, тогда как пиковые значения тока смещены вправо. Учитывая, что активная мощность является интегралом произведения мгновенных значений токов и напряжений, её результирующее значение меньше по сравнению с той же мощностью, если бы кривые тока и напряжения были синусоидами. Именно этот факт является первопричиной невозможности построения мощностной характеристики печи основываясь лишь на теоретических расчетах короткой сети и ванны печи. Как правило, на практике, мощностную характеристику строят на основании активных экспериментов на печи. Следует заметить, что в зависимости от времени года, шихта в печь попадает с разной температурой, меняется и температура атмосферы печи, которая в значительной степени кроме сезонности зависит также и от герметичности рабочего окна и мощности работы системы газоудаления. Все это в значительной мере может изменить условия горения дуги, и как следствие, мощностные характеристики.

На рисунке 4 приведена осциллограмма токов и напряжений снятых с рудотермической печи на «Братском заводе ферросплавов». Три однофазных трансформатора собраны на стороне низких напряжений в треугольник на электродах. При 80 кА токах становится визуально заметно влияние индуктивности ванны печи. Но при этом заметна также и «наклонность» кривой напряжения. Если наложить синусоиду на токовую кривую станет также заметна «наклонность» и токовой кривой. Таким образом, на печах с большими токами «реактивность» дуги складывается с реактивностью ванны.

Выводы. Дуговой разряд вносит нелинейность в электрические цепи. Использование электротехнических методов расчета трехфазных цепей (в том числе и в комплексной форме) может давать неверные результаты. Величина ошибки зависит от степени нелинейности. Распространенное представление о дуге, как чисто активном элементе неверно.

Для построения оптимальной системы управления мощностью электропечей, необходимо учитывать электродуговые явления. Трехфазную систему следует рассматривать как трехфазную, а не как три однофазных.

Список использованных источников

1. Сисоян Г.А. Электрическая дуга в электрической печи. – М.: Металлургиздат. – 1961. – 414с.
2. Математическое моделирование и расчет дуговых и плазменных сталеплавильных печей. Сборник научных трудов ВНИИЭТО. Под редакцией И. И. Игнатова. 1983г. – 72 с.

УДК 669.184

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ГАЗОСТРУЙНОЙ ПЫЛЕОЧИСТКИ НАД ЗОНОЙ ПРОДУВКИ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА

Кожухов А.А., Меркер Э.Э., Карпенко Г.А.

Старооскольский технологический институт (филиал) НИТУ МИСиС,
г. Старый Оскол

Одной из актуальных проблем современной отечественной металлургии является большая энерго- и ресурсоемкость. В связи с этим, перед черной металлургией РФ стоит задача о снижении материальных и энергетических затрат при производстве конкурентной на мировом рынке металлопродукции за счет создания и интенсивного развития энерго- и ресурсосберегающих технологий. Как показывает анализ научно-технической литературы [1-5] для современного кислородно-конвертерного процесса характерен повышенный удельный расход металлошихты на единицу выплавляемой стали. Поскольку затраты на металлошихту при производстве стали кислородно-конвертерным способом являются основными, то достаточно актуальным

является разработка мероприятий по снижению этой ресурсоемкой составляющей.

Известно, что современный кислородно – конвертерный процесс [1] характеризуется интенсивной продувкой металла кислородом и образованием в реакционной зоне высокотемпературных газов [2] с большим количеством [3] плавильной пыли и брызг. Общее количество пыли, выбрасываемой из конвертера, составляет [3] около 1,8% получаемой жидкой стали. В большегрузном конвертере (380 т) за одну плавку [3] выделяется 2,5 т крупной пыли (*А* – из котла – утилизатора) и около 4 т мелкой пыли (*Б* – из электрофильтра). Конвертерная пыль обеих фракций имеет различия в отношении удельной величины поверхности (*А* – 203 м^2/кг; *Б* – 2607 м^2/кг), содержания металлического железа (*А* – $Fe_{общ}$ = 85,4% и $Fe_{мет}$ = 71,7%; *Б* – $Fe_{общ}$ = 70,7% и $Fe_{мет}$ = 19,7%), структуры зерен и степень металлизации (*А* – 84,2%; *Б* – 27,8%). Микроскопические исследования [3, 4] показали, что крупная пыль состоит в основном из гранул (крупностью более 0,5 мм составляет менее 30 %), а мелкая пыль (крупностью более 0,5 мм составляет более 70 %) состоит из слипшихся хлопьев, имеющих рыхлую губкообразную структуру. Вследствие мелкодисперсного распределения частиц металлического железа и пирофорных свойств мелкая пыль при температуре выше 150°С воспламеняется и при сжигании в струе чистого кислорода выделяет 2000 кДж/кг пыли.

В связи с этим, применение современных конструкций двухъярусных кислородных фурм [4] с отдувом позволяющих создавать над зоной продувки высокоэффективную газоструйную систему представляется возможным осуществить локализацию пыле и брызгоуноса из зоны продувки [5].

Исследования [4, 5] показали, что газоструйная защита из кислорода для дожигания *CO* над зоной продувки может одновременно выполнять роль эффективной пылеочистки [5] на основе принципа торможения потока плавильной пыли (крупной в первую очередь) встречными многоструйными потоками кислорода с последующим возвратом пыли в шлак и ванну.

На основе экспериментальных данных [5] разработали [4] алгоритм расчета параметров газоструйной пылеочистки (ГСП) над зоной продувки конвертера, которая представляет из себя систему газовых струй из кислорода, истекающих под углом к ванне (над шлаком или в его объеме) из сопел [4] верхнего яруса кислородной фурмы.

Степень утилизации оценивали следующей формулой [1]:

$$\theta = (1 - G) = 1 - \frac{G_\infty}{G_o} = 1 - \left[G_\infty \Big/ (\xi \cdot I_{O_2}{}^{0,3}) \right], \qquad (1)$$

где $G = G_\infty/Go$ – безразмерная запыленность отходящих газов после действия струй ГСП;

G_∞ и G_o – запыленность (кг/с) потока после ГСП и на выходе из конвертера без действия струй ГСП.

Начальная запыленность потока $G_o = \xi \cdot I_{o_2}^{0,3}$ определяется интенсивностью продувки ($I_{o_2}^{0,3}$, м^3/с) ванны и эмпирической величиной ξ (кг/м^3), численно равная удельному количеству [1, 4] железистой пыли в тот или иной период плавки.

Изменение текущей концентрации технологической пыли G_∞ в объеме конвертера $V_к$ после действия струй ГСП, кг/с равно:

$$-\frac{dG_\infty}{d\tau} = \frac{\beta_{co} \cdot S_\Sigma}{V_к \cdot (G_o - G_s)}, \tag{2}$$

где G_s – величина (кг/с) характеризующая подсасывающие свойства струй ГСП и влияние шлака;

β_{co} – коэффициент массообмена между струями ГСП и запыленным потоком CO, м/с;

$S_\Sigma/V_к$ – отношение суммарной поверхности струй к объему конвертера, м$^{-1}$;

τ – время действия струйной ГСП над зоной продувки, с.

После интегрирования (2) с учетом того, что при $\tau = 0$ имеем $G_\infty = G_o$, получим

$$G_\infty = G_s + (G_o - G_s) \cdot \exp\left[-\beta_{co} \cdot \frac{S_\Sigma}{V_к} \cdot \tau\right]. \tag{3}$$

Количество подсосанной пыли (G_s) струями ГСП при встречи с потоком отходящих из зоны продувки газов равно

$$G_s = \vartheta \cdot \Delta G = \left(\frac{G_o}{V_{(co+co_2)}}\right) \cdot \Delta G = \left(\frac{G_o}{V_{(co+co_2)}}\right) \cdot q_m \cdot I_{o_2}^{ГСП}, \tag{4}$$

где $\vartheta = G_o/V_{(co+co2)}$ – доля пыли в объеме присоединенного потока струями ГСП, кг/м^3;

$\Delta G = q_m \cdot I_{o_2}^{ГСП}$ – количество присоединенной массы потока в струи ГСП, м^3/с;

$I_{o_2}^{ГСП}$ – расход кислорода на ГСП (дожигание CO и создание струйной защиты по пылеосаждению в шлаке);

Общее количество отходящих газов из зоны продувки [4] равно

$$V_{(co+co2)} = 0{,}2 \cdot \nu_c \cdot M_в,$$

где v_c – скорость обезуглероживания;
$M_в$ – масса металла в конвертере, кг.

Для основного участка струйной системы ГСП относительную величину (q_m) присоединенной массы находим по полуэмпирической зависимости О.В. Яковлевского

$$q_m = 0{,}45 \cdot \sqrt{\rho} \cdot \frac{L_m}{d_c} - 1, \tag{5}$$

где $\rho = \rho_o/\rho_\infty$ – отношение плотностей потока (G_o) и струи ГСП;
L_m/d – безразмерная величина дальнобойности струй ГСП при начальном диаметра струй d_c.

Тогда с учетом (5) величина G_s равна:

$$G_s = \begin{cases} \dfrac{G_o}{V_{(co+co_2)}} \cdot I_{o_2}^{ГСП} \cdot \left(0.45 \cdot \sqrt{\rho} \cdot \dfrac{L_m}{d_c}\right) \quad при \\ I_{o_2}^{ГСП} = 0{,}785 \cdot d_c^{\,2} \cdot w_o \cdot n, \quad где \\ w_0 = \sqrt{\dfrac{2 \cdot k}{k-1} \cdot R \cdot T \cdot \left(1 - \dfrac{P}{P_\partial}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \end{cases} . \tag{6}$$

Здесь w_o – скорость истечения струй ГСП из сопел отдува двухъярусной фурмы, м/с; n – число сопел; k – коэффициент адиабаты (для O_2 равен 1,4); T – абсолютная температура газа, К; R – газовая постоянная для O_2, кДж/(моль К); P и P_∂ – давление окружающей среды и газа в соплах верхней головки [4] фурмы.

Для расчета коэффициент массообмена (β_{co}) [5] использовали критериальное уравнение:

$$\mathrm{Sh} = 0{,}028 \cdot \mathrm{Re}^{0{,}8} \cdot \mathrm{Sc}^{0{,}43}, \tag{7}$$

где $\mathrm{Sh} = \beta_c L_m/D_m$ – критерий Шервуда;
$\mathrm{Re} = w_c d_c/\nu$ – критерий Рейнольдса;
$\mathrm{Sc} = \nu/D_m$ – критерий Шмидта;
ν и D_T – коэффициент кинематической вязкости и турбулентной диффузии, м^2/с, причем $D_T = 0{,}031 \cdot w_o \cdot d$ [4].

Суммарную боковую поверхность струй ГСП рассчитывали [4] исходя из условий взаимного влияния струй друг на друга вблизи или на поверхности шлак – металл по формуле:

$$S_{\Sigma}=\left(\frac{\pi}{2}\right)\cdot\left[\frac{H}{\cos(\alpha)}\right]\cdot\left(D_x-d_ф\right), \qquad (8)$$

где $H = H_ф + H_c$ – высота расположения сопел отдува над металлом, м;
$H_ф$ – высота сопел дутья над металлом, м;
H_c – расстояние между соплами дутья и отдува, м;
$d_ф$ – диаметр корпуса двухъярусной фурмы, м;
D_x – диаметр зоны продувки, м;
α – угол наклона сопел узла отдува к оси фурмы,°;

Величина D_x можно найти по уравнению В. И. Явойского при $H_ф > 0$:

$$D_x = 1{,}6\cdot d_o\cdot\left(0.25\cdot\pi\cdot Ar\right)^{0.35}\cdot\left(\frac{d_0}{H_ф}\right)^{0{,}05}, \qquad (9)$$

где d_0 – диаметр продувочных сопел фурмы, м.

Критерий Архимеда для продувочной зоны находили как $Ar = \rho_г\cdot w_г^2/(\rho_{ст}\cdot g\cdot d_0)$, $\rho_г$ и $\rho_{ст}$ – плотность кислорода дутья и металла (кг/м^3), а $W_г$ – скорость истечения струй кислородного дутья в металл определяли также как и для W_o в формуле (6).

Особенностью организации работы ГСП в конвертере является то обстоятельство, что расход кислорода $I_{o_2}^{ГСП}$ на осаждение технологической пыли ограничивается [4] окисленностью шлака (ΣFeO) и процессом обезуглероживания ванны, т.е. $I_{o_2}^{ГСП} = I_{o_2}^{опт}$ и тогда

$$I_{o_2}^{опт} = \begin{cases} 0{,}5\cdot V_{co}\cdot\psi, \quad при \\ V_{co} = g_{co}\cdot\left(22{,}4/12\right)\cdot\left(\frac{t_m}{273}\right) \\ g_{co} = 0{,}141\cdot M_в\cdot\nu_c/100 \\ \nu_c = K_o\cdot[C]\cdot(\sum FeO) \end{cases}, \qquad (10)$$

где V_{co} и g_{co} – объемный (м^3/с) и массовый (кг/с) расход CO при выходе из зоны продувки, м^3/с;
t_m – температура металла, К;
$M_в$ – масса металлической ванны, кг;
ψ – доля сжигаемого CO струями ГСП;
ν_c – скорость обезуглероживания;
$[C]$ – содержание углерода в металле;
K_o – константа скорости.

Таким образом, для определения параметров эффективности (θ и G) работы ГСП по выражению (1) находим величины G_∞, G_o и G_s по уравнениям

(3), (4) и (6), затем S_Σ, D_x, $I_{o_2}^{ГСП}$ по уравнениям (8), (9) и (10), которые и составляют структуру алгоритма расчета газоструйной пылеочистки.

Алгоритм расчета ГСП для 250 т конвертера был реализован в системе Matlab (рисунок 1) при следующих значениях параметров процесса и конструкции двухъярусной фурмы: d_c = 0,03 м; w_0 = 87÷290 м/с; n = 6; α = 15, 30 и 45; Io_2 = 2,5 м^3/(т мин); ρo_2 = 1,42 кг/м^3; d_0 = 0,06 м; ξ = 0,045 кг/м^3; $V_к$ = 225 м^3; ψ = 0,3.

Рисунок 1 – Блок – схема модели и алгоритма расчета эффективности применения ГСП в качестве внутриагрегатной пылеочистки

При реализации алгоритма расчета ГСП были приняты следующие допущения и граничные условия:

1. Улавливается струями ГСП крупная пыль (более 0,5мм) при содержании ее в отходящих газах не более 50%, а остальная часть приходиться на мелкую пыль.

2. При $\tau = 0$ величины $G_\infty = G_o$ т.к. струйная система ГСП не включена и тогда $\theta = 0$.

3. При $\tau > 0$ система ГСП в работе и $G_\infty < G_o$, а $\theta > 0$; Если $G_s = G_o$, то $\theta = 1$.

4. Поток отходящих запыленных газов выходит вертикально из зоны продувки под углом α к струям газодинамической защиты.

5. Поведение уровня шлака в ванне не учитывалось.

На рисунках 2 и 3 приведены результаты расчетов величины эффективности (θ) действия ГСП в зависимости от газодинамических и массообменных характеристик системы [5] дозвуковых турбулентных струй над зоной продувки в конвертере.

Рисунок 2 – Зависимость эффективности ГСП от значений числа Re, высоты сопел *H* узла отдува двухъярусной фурмы над металлом и угла наклона сопел (струй ГСП) к оси фурмы α

По мере приближения сопел второго яруса фурмы к ванне эффект (рисунок 2) по снижению пылеуноса ($G \to 0$) из зоны продувки повышается и тем больше, чем меньше угол (рисунок 3) наклона ($\alpha = 15°$) струй ГСП к оси фурмы.

Влияние числа Re и Sh на θ (рисунки 2 и 3) имеет экстремальный характер, что объясняется особенностями [4, 5] газодинамики много струйной системы, имеющая конусообразную структуру над зоной продувки. Оптимальные значения величин для $15\ 10^3 < \mathrm{Re} < 30\ 10^3$ и $6 < \mathrm{Sh} < 7$ качественно

согласуются [5] с экспериментальными данными [4] данными, выполненными на холодной модели (рисунок 4).

Рисунок 3 – Значения эффективности ГСЗ при разных углах наклона сопел отдува α и числах Шервуда для струйной системы ГСП

о – данные полученные на ЭВМ; • – экспериментальные данные, полученные на физической модели. Цифры у кривых – Н, м

Рисунок 4 – Зависимость безразмерной величины запыленности *G* отходящих газов в 250-т конвертере от числа Re и высоты подъема фурмы над зоной продувки (*H*)

Снижения эффективности действия ГСП при малых значениях Re и Sh вызвано недостаточной сплошностью струйной системы ГСП, так как меньше поверхность конуса струйной защиты при этом приходиться на зону

продувки, а энергия струйной системы является недостаточной для разрушения [5] восходящих газовых потоков и образования шлаковой пены [1, 4].

Понижение величины θ при более высоких расходах (рисунок 2) кислорода на образование ГСП объясняется тем обстоятельством, что по мере увеличения H и α и увеличения $I_{o_2}^{ГСП}$ струи системы [4, 5], взаимодействовать между собой, а с другой стороны, в верхнем межструйном пространстве при Re → max сказывается эжекции струй и, как следствие, возрастает в этих условиях проскок значительной части пыли в составе отходящих газах. Как видно из данных рисунков 2 и 3 применения ГСП позволяет снизить почти на 75% пыле вынос из конвертера, что удовлетворительно согласуется с эксперементальными данными [4, 5]. Однако при организации эффективной ГСП над зоной продувки в конвертере необходимо учитывать технологические, теплотехнические и газодинамические особенности процесса и определить экспериментальным путем оптимальные характеристики много струйной газоструйной защиты над ванной в агрегате.

Таким образом, на основе предложенного алгоритма расчета эффективности применения газоструйной пылеочистки над зоной продувки в конвертере можно найти зависимости величины θ от конструктивных параметров двухъярусной фурмы с отдувом, а также от газодинамических свойств струйной конусной системы, что позволяет разработать оптимальный дутьевой режим обеспечивающий снижение выноса технологической пыли и брызг металла.

Список использованных источников

1. Квитко М. П., Афанасьев С. Г. Кислородно – конвертерный процесс. М.: Металлургия, 1974. – 343с
2. Баптизманский В. И., Бойченко Б. М., Черевко В. П. Тепловая работа кислородных конвертеров. М.: Металлургия, 1988. – 174с.
3. Э. Хефкен, Х. – Д. Пфлипсен, Л. Зайдельман, Р. Аут // Черные металлы (Stahl und Eisen), 1988, №14 – 15.
4. Меркер Э. Э. Проблема дожигания оксида углерода и утилизации пыли в конвертере. – М.: Металлургия, 1996. – с.191
5. Колекционнова Е. С., Меркер Э. Э., Королькова Л. Н. //Изв. вузов. ЧМ, 1994, №11 с. 59 – 62 и 1995 №1 с. 20-22.

УДК 669.187.2:621.365.22

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ДУГ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ ПРИ ИХ РАБОТЕ НА ПОЛЫХ ЭЛЕКТРОДАХ

Ткачев А.С., Кожухов А.А., Меркер Э.Э., Сазонов А.В.

Старооскольский технологический институт (филиал) НИТУ МИСиС,
г. Старый Оскол

В настоящее время для повышения энергетической эффективности работы сверхмощных дуговых сталеплавильных печей применяют комплекс энергетических и технологических мероприятий, которые включают в себя тщательную подготовку металлошихты и рациональную загрузку её в печь, вспенивание шлака во второй период плавления, оптимизацию электрического и теплового режима. Все эти мероприятия направлены, прежде всего, на сокращение длительности работы печи под током и уменьшение интенсивности воздействия электрических дуг на футеровку печи. В то же время при выплавке стали в сверхмощных дуговых сталеплавильных печах скорость нагрева жидкого металла, расход электроэнергии и электродов существенно зависят от эффективности использования тепла электрических дуг.

Известно, что на большинстве современных дуговых сталеплавильных печей для подвода электрического тока используются сплошные графитированные электроды. Однако, при работе на переменном токе из-за скин-эффекта не всё сечение электрода участвует в передаче тока. Исследования, проведенные авторами работы [1], показывают, что сечение электрода при протекании по нему переменного тока используется полностью только при его диаметре менее 450 мм, а на более больших диаметрах центральная часть электрода практически не участвует в передаче тока. В связи с этим в научно-технической литературе [2,3] по данной тематике встречаются указания о возможности использования полых (трубчатых) электродов, которые позволяют более эффективно осуществлять электроплавку стали. Так, применение полых (трубчатых) электродов позволяет стабилизировать горение электрической дуги и тем самым улучшить использование мощности электропечного трансформатора.

Для анализа эффективности тепловой работы дуговых сталеплавильных печей с применением трубчатых электродов необходимо, в первую очередь, иметь сведения о характере распределения плотности тепловых потоков по поверхности металла, водоохлаждаемых стен и свода печи в сравнении с типовыми (сплошными) электродами.

В связи с этим нами была разработана математическая модель, описывающая процессы теплообмена в рабочем пространстве дуговой сталеплавильной печи. Для расчета интенсивности излучения электрических дуг на металл, стены и свод поверхность рабочего пространства была разбита на

элементарные площадки. Математическая модель расчета плотности тепловых потоков в рабочем пространстве дуговой печи представляет собой систему уравнений описывающих процесс теплообмена в рабочем пространстве печи [4].

Мощность, выделяемую электрической дугой, можно определить из выражения:

$$P_{\partial} = U_{\partial} \cdot I_{\partial}, \tag{1}$$

где $U_{\partial} = \left(U_{2\phi} - \left(I_{\partial} \cdot X\right)^2\right)^{0,5} - I_{\partial} \cdot R$ – напряжение на электрической дуге, В;

$U_{2\phi}$ – вторичное фазное напряжение, В;

X – индуктивное эксплутационное сопротивление печной установки, Ом;

R – активное сопротивление, Ом;

I_{∂} – ток дуги, А.

Длина дуги определяется по формуле:

$$L_{\partial} = (U_{\partial} - U_{a\text{-}к})/\beta_v, \tag{2}$$

где β_v – градиент напряжения в дуге, равный 800÷12000 В/м, в зависимости от периода плавки;

$U_{a\text{-}к}$ – анодно-катодное падение напряжения, В.

Величину плотности теплового потока, падающего в любую точку рабочего пространства ДСП от элемента дуги dL_{∂} можно определить по выражению:

$$dq = \alpha_{изл} \cdot P_{\partial} \cdot d\varphi_{ik} / F_h, \tag{3}$$

где $\alpha_{изл}$ – коэффициент излучения дуги равный 0,9 [4].

Величина локального углового коэффициента излучения $d\varphi_{ik}$ с поверхности элементарного цилиндра (дуги) dL_{∂} на поверхность элементарной площадки определяется следующим образом:

$$d\varphi_{ik} = \frac{\cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \cdot F_h \cdot dL_{\partial}}{\pi^2 l_i^2 l_{\partial}}, \tag{4}$$

где α_i – угол между нормалью N к оси элементарного цилиндра и направлением излучения, град;

β_i – угол между нормалью N_2 к центру элементарной площадки и направлением излучения, град;

F_h – площадь поверхности элементарной площадки, м^2;

L_i – расстояние от элемента дуги до элементарной площадки, м.

Подставляя (4) в (3) получаем, что величину плотности теплового потока, падающего в любую точку рабочего пространства печи от элемента дуги, можно определить по выражению:

$$dq = \frac{\alpha_{изл} \cdot P_{\partial} \cdot \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \cdot dL_{\partial}}{\pi^2 \cdot L_i^2 \cdot L_{\partial}}. \qquad (5)$$

Рассмотрим излучение электрической дуги горящей, под углом φ к поверхности металла со стороны внешнего угла. Для определения плотности теплового потока излучения, падающего на элементарную площадку, которая расположена слева от дуги, необходимо выполнить геометрические построения (рисунок 1). Тогда величину плотности теплового потока от электрической дуги на элементарную площадку, расположенную слева от дуги, можно определить по выражению:

$$q = \frac{\alpha_{изл} \cdot P_{\partial}}{2 \cdot \pi^2 \cdot r \cdot L_{\partial}} \left[\left[(\sin(\beta + \varphi))^2 - (\sin(\varphi))^2 \right] - \right. \\ \left. - \tan(\varphi) \cdot (\beta + \sin(\beta) \cdot \cos(\beta + 2 \cdot \varphi)) \right], \qquad (6)$$

где $\beta = arctg \dfrac{L_{\partial} \cdot \cos\varphi}{r}$ (из построений);

φ – угол наклона дуги к оси электрода равный 45° для типового электрода и 15° для полого (трубчатого электрода);

r - расстояние от центра площадки до электрической дуги.

Рисунок 1 – Геометрические построения для определения плотности теплового потока на элементарную площадку, расположенную на плоскости, при взаимном пересечении линейного источника и плоскости (элементарная площадка находится с внешней стороны линейные источника)

Далее рассмотрим излучение электрической дуги, горящей под углом φ к поверхности металла со стороны внутреннего угла, и выполним геометрические построения (рисунок 2). В этом случае величина плотности теплового потока от электрической дуги на элементарную площадку при их расположении в пересекающихся плоскостях и при нахождении элементарной площадки с внутренней стороны линейного источника будет определяться по выражению:

$$q = \frac{\alpha_{изл} \cdot P_{д}}{2 \cdot \pi^2 \cdot L_{д} \cdot r}[[(\sin(\beta - \varphi))^2 - (\sin(\varphi))^2] + tq\varphi(\beta + \sin(\beta)\cos(\beta - 2\varphi))], \qquad \textbf{(7)}$$

где r – расстояние от элементарной площадки до дуги;
$L_{д}$ – длина дуги;
φ – угол наклона дуги к оси электрода;
β – угол, под которым видна электрическая дуга с центра элементарной площадки;
α – коэффициент излучения электрической дуги.

Рисунок 2 – Геометрические построения для определения плотности теплового потока на элементарную площадку, расположенную на плоскости, при взаимном пересечении линейного источники и плоскости (элементарная площадка находится с внутренней стороны линейного источника)

Аналогичным образом были определены тепловые потоки излучения на стены и свод печи по следующим выражениям:

– для нахождения тепловых потоков для участков стен напротив электрической дуги:

$$q = \frac{\alpha_{изл} \cdot P_{д}}{2 \cdot \pi^2 \cdot L_{д} \cdot r} (\beta + \sin\beta \cos(\beta_1 - \beta_2)), \qquad (8)$$

где β_1 и β_2 – углы, определяемые из геометрических построений;

– для расчета тепловых потоков для участков стен выше электрической дуги:

$$q = \frac{\alpha_{изл} \cdot P_{д} \cdot L_{отк}}{2 \cdot \pi^2 \cdot L_{д} \cdot r} (\beta + \sin\beta \cos(\beta_1 + \beta_2)); \qquad (10)$$

– для расчета тепловых потоков на свод:

$$q = \frac{\alpha_{изл} \cdot P_{д} \cdot L_{отк}}{2 \cdot \pi^2 \cdot L_{д} \cdot r} (\cos\varphi(\beta + \sin\beta \cos(\beta_1 + \beta_2)) + \sin\varphi(\sin^2\beta_1 - \sin^2\beta_2)). \qquad (11)$$

Система уравнений (1), (2), (6)-(10) лежит в основе математической модели определения плотности теплового излучения от электрической дуги на поверхность металла, стен и свода. Результаты расчета, характеризующие распределение плотности теплового потока по поверхности металла, стен и свода, полученные с помощью математической модели, представлены на рисунках 3, 4 и 5.

Рисунок 3 –. Распределение плотности теплового потока по поверхности ванны в дуговой сталеплавильной печи с применением обычного электрода (а) и трубчатого (полого) электрода

а) б)

Рисунок 4 – Распределение плотности теплового потока по поверхности водоохлаждаемых стен с использованием обычных электродов (а) и полого электрода (б)

Рисунок 5 – Распределение плотности теплового потока по поверхности водоохлаждаемого свода

Анализ результатов расчета показывает, что применение полых (трубчатых) электродов позволяет более равномерно распределить тепло по поверхности металла. Данный факт объясняется тем, что на полых (трубчатых) электродах степень вертикального фокусирующего положения электрической дуги возрастает, что создает направленный тепловой поток на металл. При этом пик максимумов тепловых потоков значительно выше, чем у обычного электрода и смещен ближе к центру печи. Это говорит о том, что применение полых (трубчатых) электродов позволит повысить скорость нагрева металла, тем самым повысить эффективность использования тепла от электрической дуги.

Также из результатов расчета видно (рисунки 4, 5), что облученность поверхности стен и свода печи значительно уменьшается за счет лучшего экранирования электрической дуги, что дает возможность работы на более

высоких ступенях вторичного напряжения. На основе полученных данных можно сказать, что применение трубчатых электродов на печах с водоохлаждаемыми элементами стен и свода позволит повысить надежность их тепловой работы и снизить долю тепловых потерь с охлаждающей водой, что приведет к сокращению удельного расхода электроэнергии на плавку.

Таким образом, применение трубчатых (полых) электродов на дуговых сталеплавильных печах является достаточно эффективным с энергетической точки зрения и позволяет повысить эффективность тепловой работы дуговой сталеплавильной печи.

Список использованных источников

1. Егоров А.Е., Никольский Л.Е, Окороков Н.В. О применении трубчатых электродов в дуговых электрических печах. // Электротермия, 1962, №9. с. 27-31.
2. Окороков Н.В., Никольский Л.Е., Егоров А.В. Эффективность работы дуговой печи на трубчатых электродах. //Электротермия, 1962, №9. с. 13-18.
3. Промышленные установки электродугового нагрева и их параметры. Под. общ. ред. Л.Е. Никольского. М., «Энергия», 1971. 272с. с ил.
4. А.Н. Макаров. Теплообмен в дуговых сталеплавильных печах. Тверь, 1998, с. 183.

УДК 669.18

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ТОЛЩИНЫ ОБОЛОЧКИ ПРИ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ НА МНЛЗ

Королькова Л.Н.

СТИ МИСиС, г. Старый Оскол

При непрерывной разливке стали для обеспечения высокого качества непрерывно литой заготовки и стабильности процесса разливки очень важно поддержание оптимального уровня температуры разливаемого металла.

Для практических целей и инженерных расчётов можно использовать следующие эмпирические зависимости расчета значений температур ликвидуса и солидуса углеродистых и низколегированных сталей [1]:

$$T_л = 1536–(76\cdot C+7,6\cdot Si+4,9\cdot Mn+1,3\cdot Cr+3,1\cdot Ni+ +4,7\cdot Cu+3,6\cdot Al+34,4\cdot P+38\cdot S), \quad (1)$$

$$T_c = 1536–(200\cdot C+16\cdot Si+6\cdot Mn+93\cdot P+1100\cdot S+1,7\cdot Cr+3,9\cdot Ni), \quad (2)$$

где C, Mn и др. – процентное содержание соответствующих элементов в стали.

Рассмотрим кристаллизатор. Площадь его активной, м^2:

$$S = 2\cdot(a\cdot L_a)+2\cdot(b\cdot L_a), \tag{3}$$

где L_a – активная длина кристаллизатора, м;
a и b – размеры узкой и широкой граней заготовки в кристаллизаторе, м.

Время движения заготовки в кристаллизаторе:

$$\tau = L_a / v, \tag{4}$$

где v – скорость разливки, м/с.

Путь пройденный за первые секунды:

$$l = v \cdot t_0, \tag{5}$$

где t_0 – время от начала движения заготовки по кристаллизатору, с.

Площадь кристаллизатора пройденная за t_0, м^2:

$$S_x = S\cdot(t_0/\tau_x). \tag{6}$$

Количество освободившегося тепла, которое необходимо отвести за время t_0 через единицу поверхности S_x, выражаемое как плотность теплового потока q [2]:

$$\mathrm{q} = (4{,}133\cdot 10^{-3} / S_x)\nu\cdot\sqrt{\tau}\cdot(a+b-4{,}65\cdot 10^{-3}\cdot\sqrt{\tau})\cdot\rho\cdot Z. \tag{7}$$

Средняя плотность теплового потока от кристаллизатора на расстоянии x от уровня стали в кристаллизаторе (Вт/м^2):

$$\bar{q} = 69{,}3148\cdot 10^6\cdot(1/\tau)\cdot[1-\exp(-0{,}0386\cdot\tau)]+2{,}907\cdot 10^3\cdot\tau-11{,}339\cdot 10^4. \tag{8}$$

Средняя температура застывшего слоя металла в кристаллизаторе:

$$t_{1,x} = t_{1,p}\cdot\exp\cdot(-(\frac{\bar{q}-q_L}{t_{1,p}+t_{1,x}-2\cdot t_{2,p}})\cdot 2\cdot S_x\cdot((a\cdot b\cdot\nu\cdot\rho\cdot c)^{-1}-H_2^{-1})), \tag{9}$$

где ρ – плотность застывшей стали, кг/м^3;
c – теплоёмкость стали, Дж/(кг·К);
$t_{1,p}$ – температура стали на входе в кристаллизатор, К;
$t_{2,p}$ – температура воды на входе в кристаллизатор, К.

Температура $t_{1,x}$ определяется последовательным приближением. Аналогично определяется температура затвердевшего слоя заготовки на выходе из кристаллизатора.

Толщина закристаллизовавшейся оболочки ξ [3]:

$$\xi = k\sqrt{\tau}, \tag{10}$$

где k – коэффициент затвердевания определяется совокупностью физических свойств расплава и затвердевшего слоя;

λ – теплопроводность стали, Вт/(м·К).

Температура поверхности заготовки на выходе из кристаллизатора [4]:

$$t_{пв} = t_c - \frac{A \cdot v^n}{2 \cdot \lambda_м} \cdot k \cdot (\frac{L_a}{v})^{0,5}, \tag{11}$$

где A и n – эмпирические коэффициенты;

t_c – температура солидус сплава, К.

Рисунок 1 – Графики зависимости температуры и толщины оболочки от расстояния до мениска металла в кристаллизаторе

Рассмотрим непрерывно литую заготовку в зоне вторичного охлаждения. Общее время прохождения секции ЗВО:

$$\tau = \frac{l}{v}, \tag{12}$$

где τ – время необходимое для прохождения секции, с;

l – длина секции, м.

Разобьём общий временной интервал на части. Необходимые для расчетов параметры водовоздушной смеси определяются исходя из теплофизи-

ческих параметров каждого компонента смеси при температуре солидус и температуре поверхности слитка, и его процентного содержания в смеси.

Скорость истечения смеси из форсунки:

$$\omega_1 = \frac{G_{ж}}{F_1}, \tag{13}$$

где $G_{ж}$ – расход на одну форсунку, м^3/с;

F_1 – площадь сечения сопла форсунки, м^2.

Скорость течения водо-воздушной смеси возле поверхности заготовки, м/с:

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \frac{F_1}{F_2}, \tag{14}$$

где F_2 – площадь орошения одной форсунки, м^2.

Для нахождения температур поверхности и центра заготовки используем формулу, учитывающую постоянную температуру окружающей среды и перепад температур по сечению заготовки в начальный момент времени [5]:

$$t = t_{окр} + (t_{пов} - t_{окр}) \cdot F(\frac{a\tau}{S^2}; \frac{\alpha S}{\lambda}; \frac{x}{S}) + \Delta t_н \cdot F_1(\frac{a\tau}{S^2}; \frac{\alpha S}{\lambda}; \frac{x}{S}), \tag{15}$$

где $t_{окр}$ – температура окружающей среды, К;

$t_{пов}$ – температура поверхности, К;

F и F_1 – функции, которые находятся графически для середины и поверхность заготовки;

$\Delta t_н$ – разность температур поверхности и центра в начальный момент времени, К.

Для нахождения толщины корочки в любой момент времени необходимо определить количество отводимого тепла с поверхности заготовки за определённый промежуток времени.

Тепловой поток на поверхности заготовки:

– в начальный момент времени: $q = \alpha_{сум} \cdot (t_n - t_{окр})$;

– через промежуток времени: $q_i = \alpha_{сум} \cdot (t_i - t_{окр})$,

где $\alpha_{сум}$ – суммарный коэффициент теплоотдачи на узкой и широкой сторонах, Вт/(м^2·К);

q – тепловой поток на узкой и широкой поверхностях в начальный момент времени, Вт/м^2;

q_i – тепловой поток на узкой и широкой поверхностях через время τ, Вт/м^2;

$t_{окр}$ – температура окружающей среды, К.

Средняя температура оболочки по сечению:

– в начальный момент времени: $t_{об} = (t_n + t_c)/2$,

– через промежуток времени: $t_{обi} = (t_{ni} + t_c)/2$,

где $t_{об}$ – температура оболочки средняя по сечению для узкой или широкой стороны в начальный момент времени, К;

$t_{обi}$ – температура оболочки средняя по сечению для узкой или широкой стороны через время τ, К;

t_n и t_{ni} – температура поверхности узкой или широкой стороны в начальный момент времени и через время τ, К;

t_c – температура солидус данной марки стали, К.

Средняя температура оболочки: $t_{обср} = (t_{об} + t_{обi})/2$,

где $t_{об\ ср}$ – средняя температура оболочки для узкой или широкой стороны, К.

Количество тепла отведённого от заготовки выбранного сечения за промежуток времени τ:

$$Q_1 = S_a \cdot \tau \cdot q_{cp}^a + S_b \cdot \tau \cdot q_{cp}^b. \tag{16}$$

Масса металла в выбранном сечении:

$$m = \delta^a \cdot \delta^b \cdot c \cdot \rho, \tag{17}$$

где m – масса металла в выбранном сечении, кг;

δ^a и δ^b – полутолщины узкой и широкой сторон слитка;

ρ – плотность стали, кг/м^3.

Масса жидкой стали в выбранном сечении в начальный момент времени:

$$m_{ж}^0 = (\delta^a - \delta^0)(\delta^b - \delta^0) \cdot c \cdot \rho, \tag{18}$$

где δ^0 – толщина корочки в начальный момент времени, м.

Количество тепла, которое необходимо отвести для кристаллизации металла массой m:

$$Q_2 = c \cdot m \cdot (t_{кр} - ((t_{об\ ср}^a + t_{об\ ср}^b)/2)) + q_к \cdot m, \tag{19}$$

где c – теплоёмкость стали, Дж/(кг·К);

$q_к$ – теплота затвердевания стали, Дж/кг;

$t_{кр}$ – температура кристаллизации равная температуре ликвидус стали, К.

Массу металла, затвердевшего за время τ, определяем последовательным приближением.

Масса жидкой стали через промежуток времени τ:

$$m_{ж} = m_{ж}^0 - m, \tag{20}$$

где $m_{ж}$ – масса жидкой стали в выбранном сечении в начальный момент времени, кг.

Толщина жидкой фазы $\delta_{ж}$:

$$\delta_{ж} = 1{,}0955 \cdot \sqrt{\frac{m_{ж}}{c \cdot \rho}}, \qquad (21)$$

где $\delta_{ж}$ – толщина жидкой фазы узкой или широкой сторон слитка, м.

Толщина твёрдой фазы $\delta_{тв}$:

$$\delta_{тв} = \delta_b - \delta_{ж}, \qquad (22)$$

где $\delta_{тв}$ – толщина твёрдой фазы узкой и широкой сторон слитка, м.

Рисунок 2 – Зависимость температуры поверхности и толщины оболочки от расстояния до нижнего среза кристаллизатора

Рассмотрим охлаждение непрерывно литой заготовки в зоне охлаждения на воздухе. Охлаждение осуществляется в основном излучением.

Тепловой поток на поверхности заготовки:

$$q = \alpha_{из} \cdot (t_{пов} - t_{ж}), \qquad (23)$$

где q – тепловой поток на поверхности в начальный момент времени, Вт/м^2;

$\alpha_{из}$ – коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м^2·К);
$t_{пов}$ – начальная температура поверхности слитка, К;
$t_{ж}$ – температура воздуха, К.

Теплосодержание выбранного отрезка слитка в начальный момент времени:

$$Q = c \cdot h \cdot \delta^a \cdot \delta^b \cdot \rho \cdot t_{ср}, \tag{24}$$

где $t_{ср}$ – средняя температура слитка в указанном сечении, К;
δ^a и δ^b – полутолщина слитка по узкой и широкой стороне, м;
ρ – плотность стали, кг/м^3;
c – теплоёмкость стали, Дж/(кг·К);
h – длина выбранного отрезка равная, м.

Площадь теплоотводящей поверхности:

$$S = \delta \cdot h.$$

Потеря тепла в теплосодержании отрезка слитка по окончании охлаждения на воздухе:

$$\Delta Q = q \cdot S_a \cdot \tau.$$

Теплосодержание выбранного отрезка слитка через время охлаждения:

$$Q_2 = Q \cdot \Delta Q.$$

Средняя температура слитка $t_{ср}$ по окончании охлаждения на воздухе:

$$t_{ср} = \frac{Q_2}{c \cdot h \cdot \delta^a \cdot \delta^b \cdot \rho}. \tag{25}$$

Температура центра слитка по окончании охлаждения на воздухе:

$$t_{ц\,i} = 2 \cdot t_{ср} - t_{п\,i}, \tag{26}$$

где $t_{ср}$ – средняя температура слитка в указанном сечении через время τ_i, К;
$t_{п\,i}$ – температура поверхности слитка по окончании охлаждения на воздухе, К.

Рисунок 3 – Зависимость температуры центра заготовки в зоне охлаждения на воздухе от расстояния до нижнего среза кристаллизатора

Список использованных источников

1. Машины непрерывного литья слябовых заготовок. Нисковских В.М., Карлинский С.Е., Беренов А.Д. – М.: Металлургия, 1991, 272 с.
2. Шмрга Л. Затвердевание и кристаллизация стальных слитков / Пер. с чешск. под ред. Кашина В.И. – М.: Металлургия, 1985, 248 с.
3. Конструкции и проектирование агрегатов сталеплавильного производства. / Григорьев В.П., Нечкин Ю.М., Егоров А.В., Никольский Л.Е.: Учебник для вузов. – М.: МИСиС. 1995, 512 с.
4. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок. Емельянов В.А. Учебн. пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1988, 143 с.
5. Скворцов А.А., Акименко А.Д. Теплопередача и затвердевание стали в установках непрерывной разливки. – М.: Металлургиздат, 1966.

УДК 669.041

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ

Меркер Э.Э., Харламов Д.А., Ансимов А.А.

Старооскольский технологический институт (филиал) НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол.

Аэродинамический режим сжигания топлива в печи [1,2] связан с действительным количеством воздуха, подводимого в зону горения ($V_д^в$ м^3/ч) и является одним из главных факторов, определяющих скорость горения топлива в факеле [3, 4]. Значение величины $V_д^в$ находим из следующего выражения:

$$V_д^в = V_{в.в} + \Delta V_{в(подс)} - \Delta V_{в(асп)}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где $V_{в.в}$ – расход вентиляторного воздуха, фиксируемый расходомером на печи, м^3/ч;

$\Delta V_{в(подс)}$ – уровень подсосов воздуха в головке печи, м^3/ч;

$\Delta V_{в(асп)}$ – часть вентиляторного воздуха, теряемого в системе аспирации, м^3/ч.

Теоретический расход воздуха на сжигание природного газа равен:

$$V_m^{\,в} = V_0 \cdot \beta_г,$$

где $\beta_г$ – расход газа на горелку, м^3/ч;

V_0 – теоретическое количество воздуха для сжигания 1 м^3 природного газа. $V_0 = 7{,}18 \cdot n + 2{,}4$, где $n = \dfrac{3 \cdot в}{2с - в}$ есть углеродное число газа данного состава, определяемое по лабораторному химанализу пробы газа.

При этом «*в*» и «*с*» – соответственно объемы образовавшейся CO_2 и CO в смеси после сжигания и дожигания пробы газа, см^3.

С учетом вышеизложенного фактический коэффициент

$$\alpha_в^{ЭВМ} = \frac{V_д^в}{V_m^в} = \left(V_{в.в} + \Delta V_{в(подс)} - \Delta V_{в(асп)}\right) / \left(V_0 \cdot \beta_г\right). \qquad (2)$$

Предварительно величины $\Delta V_{в(подс)}$ и $\Delta V_{в(асп)}$ находили экспериментально по данным анализа проб отходящих газов на выходе из печи. Так, при закрытии шибера в тракте аспирации ($\Delta V_{в(асп)} = 0$) определяем количество подсосов воздуха в печь.

$$\Delta V_{в(подс)} = \alpha_в^{хим} \cdot \left(V_0 \cdot \beta_г\right) - V_{в.в}, \qquad (3)$$

где $\alpha_в^{хим} = \dfrac{1}{1 - 3б76 \cdot \dfrac{O_2}{N_2^д}}$, причем $N_2^д = 100 - (CO_2 + CO + O_2 + H_2)$, %. Здесь $N_2^д$, CO_2, CO, O_2, H_2 – содержание элементов в отходящих азах из печи, %.

При постоянных значениях тяги в печи, скоростях ее вращения и подачи известняка в рабочее пространство печи при известных данных по $\beta_г$, $V_{в.в}$, $\Delta V_{в(подс)}$, $\alpha_в^{хим}$ находим $\Delta V_{в(асп)}$ уже при открытом шибере, что позволяет затем по выражению (2) рассчитывать в динамике на печном компьютере текущее значение $\alpha_в^{ЭВМ}$.

Экспериментально установлено (рисунок 1), что оптимальный к.и.в. находится в пределах $1{,}0 < \alpha_в^{хим} < 1{,}1$. С учетом ошибки определения этой величины (±0,02) приняли, что оптимальным $\alpha_в^{хим} = \alpha_в^{ЭВМ} = 1{,}03 \pm 0{,}02$. В условиях недожога топлива ($\alpha_в^{ЭВМ} < 1{,}0$) теплотехнологические показатели производства извести (2) ухудшаются.

Рисунок 1 – Зависимость содержания *CO* (а) и NO_x (б) в отходящих газах от величины коэффициента расхода воздуха ($\alpha_в^{хим}$) на сжигание топлива в агрегате

Общая структурная схема компьютерной системы оптимизации (КСО) режима сжигания топлива (РСТ) приведена на рисунке 3. При этом расчет показателей режима горения топлива и оптимизация величины $\alpha_в^{ЭВМ}$, $V_в^{опт}$ и $\beta_в^г$ осуществляется по программе на основе применения алгоритмического языка MS Excel.

Для решения задачи по оптимизации [3, 5] режима сжигания топлива например, при α $\alpha_в^{опт} = 1{,}03 \pm 0{,}02$, записываются исходные данные по специальной схеме с овладением несложными приемами манипулирования имеющимися средствами Excel с целью интерпретации персональных данных работы печи, выдаваемых компьютером в режиме реального времени.

При известных значениях $\Delta V_{в(асп)}$ контрольная проверка точности работы компьютерной системы (рисунок 2) осуществляется периодически по мере необходимости с помощью химического анализа пробы отходящих газов на выходе из печи с последующим расчетом $\alpha_в^{ЭВМ}$ для уточнения величины подсосов воздуха в соответствии с выражением (3).

По ходу работы компьютерной системы оптимизации (КСО) режима сжигания топлива (РСТ) осуществляется сравнение $\alpha_в^{ЭВМ}$ и $\alpha_в^{опт}$ с определением $\pm\Delta\alpha_в$. Затем уточняется действительный расход воздуха на горение $V_д^в \cdot \Delta\alpha_в = V^в_{д(опт)}$, т.е. $V^в_{д(опт)} = V_д^в(1 \pm \Delta\alpha_в)$, где $+\Delta\alpha_в = \alpha_в^{ЭВМ} - \alpha_в^{опт}$ или $-\Delta\alpha_в = \alpha_в^{опт} - \alpha_в^{ЭВМ}$.

Рисунок 2 – Зависимость температуры подогрева воздуха (а), удельного расхода топлива (б) и производительности печи (в) от коэффициента расхода воздуха на клапане.

После чего уточняется требуемый (оптимальный) расход вентиляторного воздуха, подаваемого на горение топлива в печи:

$$V_{в.в}^{опт} = V^{в}_{д(опт)} - \Delta V_{в.(подс)} + \Delta V_{в(асп)},\ м^3/ч. \quad (4)$$

Далее устанавливается требуемое соотношение воздух – газ для данного момента работы печи

$$\beta_{в}^{г} = V^{в}_{д(опт)} / B_{г} = \left(V^{в}_{д(опт)} - \Delta V_{в(подс)} + \Delta V_{в(асп)}\right) / B_{г}. \quad (5)$$

Сравнение результатов расчетов $\alpha_{в}^{ЭВМ}$ с помощью КСО (рисунок 3) с данными контрольных определений $\alpha_{в}^{хим}$ (рисунок 4) свидетельствует об удовлетворительной сходимости ($\Delta\alpha_{в} \cong \pm 0{,}03$) имеющихся данных и адекватности разработанной для ЦОИ компьютерной системы оптимизации режима сжигания топлива по ходу работы вращающейся обжиговой печи.

блок 1 – исходные данные для КСО;

блок 2 – расчет теоретически необходимого расхода воздуха на горение;

блок 3 – расчет расхода воздуха на сжигание 1 $м^3$ природного газа и определение $\alpha_{в}^{хим}$ по составу пробы отходящих газов (ур-е 4) на выходе из печи;

блок 4 – расчет количества присосов (подсосов) воздуха в головке печи;

блок 5 - расчет действительного расхода воздуха при сжигании газа в факеле;

блок 6 – определение к.и.в. расчетом на ЭВМ;

блок 7 - программа решения задачи оптимизации сжигания топлива в печи;

блок 8 - оптимальные заданные пределы к.и.в. для печи;

блок 9 – сравнение данных расчета к.и.в. на ЭВМ с оптимально необходимой величиной;

блоки 10 и 11 - определение величины отклонения ($\pm\Delta\alpha_{в}$) $\alpha_{в}^{ЭВМ}$ от $\alpha_{в}^{опт}$ и расчет оптимально необходимого действительного расхода воздуха на горение топлива;

блок 12 – установление оптимального расхода вентиляторного воздуха на клапане;

блок 13 – определение действительной величины соотношения воздух – газ в печи;

блоки 14 и 15 – расчет фактической величины к.и.в. на клапане и печать данных результатов расчета на компьютере.

Таким образом, обеспечение текущей оптимизации [3, 5] режима горения топлива с применением системы КСО по данным $\alpha_{в}^{ЭВМ}$, $V^{в}_{д(опт)}$ и $\beta_{в}^{г}$ позволяет обеспечивать условия по улучшению [1, 4] технико-экономических и энерго - экологических показателей производства извести на вращающихся печах обжига известняка.

Рисунок 3 – Структурная блок-схема модели компьютерной системы оптимизации (КСО) режима сжигания топлива (РСТ) для условий работы вращающейся печи обжига известняка

Рисунок 4 – Корреляционная связь параметров $\alpha_в^{ЭВМ}$ и $\alpha_в^{хим}$ в одинаковых условиях работы печи

Список использованных источников

1. Меркер Э.Э. и др. Тепловые и технологические процессы в печах бездоменной металлургии. - Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2010г.-184с.
2. Морозов А.Н. Современное производство стали в дуговых печах. - М: Металлургия, 1987г.-175с.
3. Трубаев П.А. и др. Методы компьютерного моделирования горения теплообмена во вращающихся печах. - Белгород: Из-во БГТУ: БИЭИ, 2008г. - 230 с.
4. Гамей А.И. и др. Освоение технологии обжига известняка во вращающихся печах // Черная металлургия: Бюл. НТИ №6, 2002г. С. 3-5.
5. Антонов Г.Л. и др. Особенности эксплуатации вращающихся печей обжига известняка // Сталь, №9, 2008г. С. 41-44.

УДК 669.018.8

ВЛИЯНИЕ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ ОКАТЫШЕЙ В ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Черменёв Е.А., Меркер Э.Э., Сазонов А.В.

СТИ НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол

Качество металла, получаемого при переплавке железорудных металлизованных окатышей (ЖМО) в ванне дуговой печи (ДСП) [1, 2], в значительной мере определяют закономерности шлакообразования [3, 4]. Технологические процессы электроплавки [2, 5] таковы, что их кинетические возможности сдерживаются в основном невысокой рафинирующей способностью шлаков [1, 6], которая определяется возможностью поглощать удаляемую из металла примесь, условиями взаимодействия металла и шлака, количеством взаимодействующего шлакового расплава и другими факторами [7].

Применение топливно–кислородных горелок (ТКГ) для подачи кислорода, газа и угольной пыли позволяет [3, 5, 7] интенсифицировать процессы шлакообразования, нагрева и обезуглероживания металла в ДСП.

Скорость окисления углерода (v_C, %С/мин) при лимитировании процесса массопереносом и условии, что практически весь поступающий в ванну кислород расходуется на окисление углерода в металле, определяется из выражения:

$$v_C = K_1 \cdot q_O = \beta_O \cdot S_{пуз} \cdot \Delta[O], \qquad (1)$$

где q_O – поступление кислорода в металлическую ванну из ЖМО и ТКГ, $с^{-1}$;

β_O – коэффициент массоотдачи кислорода к пузырям монооксида углерода, м/с;

$S_{пуз}$ – поверхность пузырей в единице объема ванны, $м^2/м^3$.

Перепад концентраций кислорода ($\Delta[O]$, %) между объемом металла и реакционной поверхностью ($S_{пуз}$) находим из выражения:

$$\Delta[O] = [O]_ф - [O]_р = [O]_ф - \frac{P_{CO}}{K_C \cdot [C] \cdot f_O}, \qquad (2)$$

где $[O]_ф$ и $[O]_р$ – фактическое и равновесное с углеродом содержание кислорода в металле, %;

K_C – константа равновесия реакции окисления углерода;

$[C]$ – содержание углерода в металле, %;

f_O – коэффициенты активности кислорода и углерода.

Из анализа (1) и (2) следует, что чем выше содержание $[C]$, тем меньше значение $[O]_р$, а следовательно выше перепад $\Delta[O]$, что приводит к по-

вышению показателя v_C, способствующего интенсификации процессов наводки шлака [2, 7], обезуглероживания и плавления ЖМО в ванне ДСП.

В период нагрева металлической ванны в ДСП условия передачи энергии дуг [6] непрерывно изменяются (рисунок 1) под действием процессов протекающих между концом электрода, шлаком и металлом.

а – распределение напряжений в ДСП; б – короткое замыкание; в – свободно горящая дуга; г – дуга, наполовину погруженная в пенистый шлак; д – дуга, полностью погруженная в пенистый шлак; е – электрод; ж – ванна; з – напряжение на границе раздела фаз.

Рисунок 1 – Влияние пенистого шлака на коэффициент использования энергии при передаче ее от электродов к ванне металла

Из приведенных данных следует, что при горении дуг в слое пенистого шлака коэффициент использования энергии изменяется от 35 до 90%.

Вспенивание шлака определяется количеством образующихся газов (CO и CO_2) в ванне при различных режимах подачи ЖМО, работы ТКГ и присадки шлакообразующих в ДСП (таблица 1).

Из данных таблицы вытекает, что около 80% газа, необходимого для вспенивания шлака, образуется в шлаке и только 20% в металле. Таким образом, основное количество газа (CO) выделяется из шлака в результате восстановления окиси железа $(FeO)_ш$ [5, 7]. При этом требуемое содержание

$(FeO)_ш$ в ванне обеспечивается кислородом, поступающим из ЖМО и ТКГ с учетом присадки шлакообразующих.

Таблица 1 – Влияние режима присадки в печь на соотношение образующегося *CO* между металлом и шлаком.

Режим работы	Доля образующегося *CO*, %	
	в металле	в шлаке
Типовой режим	18	82
Опытные режимы: с присадкой бокситов	35	65
с присадкой необожженного доломита	31	69
с присадкой обожженного доломита	14	86
Среднее значение	22	78

Вдувание измельченной угольной пыли в потоке кислорода и газа интенсифицирует пенообразование, что позволяет удерживать электрические дуги (рисунок 1) в объеме вспененного шлака и снизить удельный расход электроэнергии (рисунок 2) на электроплавку ЖМО.

а – обычный режим работы; б – присадка бокситов; в – присадка необожженного доломита; г – присадка обожженного доломита; 1 – значения для плавок с хорошо вспененным шлаком; 2 – значения для всех плавок; 3 – значения для плавок с плохо вспененным шлаком

Рисунок 2 – Средний расход электроэнергии, отнесенный к расходу электроэнергии при обычном режиме работы

Это объясняется лучшей передачей энергии в системе дуга–шлак–металл в период нагрева и плавления ЖМО. При использовании присадки необожженного доломита эффект по экономии электроэнергии (Рис. 2) является максимальным, т.к. наряду с образованием *CO* в объеме шлака появляется и двуокись углерода.

Установлено, что эффективность технологии плавки [1] ЖМО в 150т ДСП в существенной мере зависит от параметров шлакового режима [2, 3], т.е. таких как основность, окисленность, вспенивание и толщина шлака. На опытных плавках по ходу электроплавки ЖМО в 150т ДСП отбирали пробы металла и шлака с последующим их химическим анализом. Толщину вспененного шлака в ванне ДСП по ходу плавки ЖМО определяли [2] с помощью загнутой на конце под углом 90° металлической штанги и по углу наклона печи (α) к горизонту с помощью индикатора. Сопоставлением данных этих двух методов установили, что толщину шлака ($H_{шл}$, см) по ходу плавки можно определить по зависимости $H_{шл} = R_в \cdot \mathrm{tg}\,\alpha \pm 2{,}5$ см, где $R_в$ – радиус ванны ДСП на уровне ее откосов.

Установлено, что по мере скачивания шлака из печи, снижения расхода извести, изменения расходов коксика, топлива и кислорода через ТКГ, повышения температуры шлака ($T_{шл}$, °С) и интенсивности окисления углерода в ванне, толщина вспененного шлака по ходу плавления ЖМО (τ, мин) уменьшается в соответствии с уравнением регрессии:

$$H_{шл} = 0{,}0445\tau^2 - 15{,}63\tau + 1286{,}6 \text{ при } R = 0{,}85, \qquad (3)$$

где R – коэффициент множественной корреляции.

С целью обеспечения полного экранирования электрических дуг в шлаке ($H_{шл} \geq L_д$, где $L_д$ – длина дуги, м) и повышения уровня его вспенивания расход извести и вспенивающих материалов (коксика, электродной крошки, известняка и др.) повышали до 0,1 т/мин, что также способствовало более интенсивному нагреву (v_t, °С/мин) и обезуглероживанию металла кислородом. При работе ТКГ окисленность шлака в печи (FeO) изменялась в пределах 15...25%, а средний вес корольков металла по высоте шлака изменялся от 10г (у границы шлак – металл) до 3 – 5г на верхнем уровне шлака [2, 3].

Исследования с применением устройства со специальными пробницами на нем показали наличие трех зон по высоте вспененного шлака: относительно чистый от корольков шлак, переходной слой, включающий мелкие корольки и ошлакованные включения металла, и наконец, слой с большим содержанием корольков металла, где осуществляется, видимо, в основном обезуглероживание [3] и плавление окатышей.

Углерод корольков металла взаимодействует с кислородом шлака, что интенсифицирует газовыделение (CO и CO_2) в шлаке и тем самым усиливается его вспениваемость. Повышенная окисленность шлака за счет поступления кислорода из сопел ТКГ интенсифицирует обезуглероживание металла и ускоряет плавление ЖМО в ванне печи [4, 5]. Скорость обезуглероживания металла находили по следующей методике. По известным двум пробам металла на углерод $[C]_1$ и $[C]_2$ за время плавки τ_1 и τ_2 находили $\Delta[C] = [C]_1 - [C]_2$, %. За период $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$, в ванну загружается окатышей $M_{ок} = V_{ок} \cdot \Delta\tau$, кг, где $V_{ок}$ – расход окатышей в ванну, (кг/с) с содержанием уг-

лерода в них $[C]_o$ = 2%. Затем находим количество углерода $[C]_x$, вносимого окатышами в ванну печи. Из них в шлак за период $\Delta\tau$ поступает углерода $(C)_ш$, %, а в металле остается $[C]_o$ - $(C)_ш$ = $[C]^1_x$, %, где $[C]^1_x$ – количество углерода, поступившее из окатыша в металл, %.

Тогда локальная скорость обезуглероживания металла равна:

$$v_C = \frac{\Delta[C]}{\Delta\tau} = \frac{\left([C]_1 + [C]^1_x\right) - [C]_2}{\Delta\tau}, \text{ \%C/мин.} \quad (4)$$

Количество прореагировавшего углерода окатыша ($[C]_x = [C]_o - (C)_ш$, %) соответствует стехиометрическому его количеству по отношению к кислороду, т.е. $[C]_x = [O]/1{,}33$, а зависимость его от степени металлизации окатыша находим из уравнения материального баланса при плавлении ЖМО:

$$Fe^{ок}_{об} + [O]_{ок} + [C]_o + B = 100\%, \quad (5)$$

где B – содержание пустой породы, %;
$[O]_{ок}$ – содержание кислорода в оксидах железа, %;
$Fe^{ок}_{об}$ – содержание в окатышах общего железа, %.

Поскольку кислород, содержащийся в ЖМО, связан с железом в виде $(FeO)_{ок}$, то уравнение (5) принимает вид:

$$Fe^{ок}_{мет} + (FeO)_{ок} + [C]_o + B = 100\%, \quad (6)$$

где $Fe^{ок}_{мет}$ – содержание в окатыше железа металлического, %;
$(FeO)_{ок}$ – содержание в нем вюстита, %.

Примем, что $[O]_{ок}/[C]_o = K$; $B/Fe^{ок}_{об} = A$; $Fe^{ок}_{мет}/Fe^{ок}_{об} = \varphi$.

Тогда, выразив из (5) и (6) значения $[O]_{ок}$ и $(FeO)_{ок}$ составим систему уравнений в следующем виде:

$$\begin{cases} Fe^{ок}_{об} + K\cdot[C]_o + [C]_o + A\cdot Fe^{ок}_{об} = 100\% \\ Fe^{ок}_{мет} + 4{,}49\cdot K\cdot[C]_o + [C]_o + A\cdot Fe^{ок}_{об} = 100\% \end{cases}. \quad (7)$$

Из первого уравнения системы (7) выразим:

$$Fe^{ок}_{об} = \left[100 - (K+1)\cdot[C]_o\right]/(A+1). \quad (8)$$

Подставляя это значение $Fe^{ок}_{об}$ во второе уравнение системы (7) с учетом того, что A = 0,058 [1,2] получим:

$$(C)_ш = [C]_o - (1 - \varphi)\cdot 100/(7{,}25 - 2{,}33\varphi), \text{ \%.} \quad (9)$$

Из анализа выражения (9) следует, что с увеличением степени металлизации φ в окатышах доля углерода, окислившегося в шлаке и степень его вспенивания возрастают.

Определив величину $(C)_ш$ по уравнению (9) и зная значения $[C]_1$ и $[C]_2$, находим скорость обезуглероживания металла по выражению (4) в данный момент времени плавки ЖМО в ванне печи.

Для условий работы 150т дуговой печи в ЭСПЦ ОАО «ОЭМК» с применением ТКГ обработали паспортные данные более 30 опытных плавок. В результате установили, что при соблюдении требуемых для технологии [2] параметров шлакового режима ($H_{шл} \geq L_д$, v_C более 0,01 %С/мин, 15% < (FeO) < 25%, температуре шлака $T_{шл}$ > 1580°С и др.) достигаются высокие показатели по увеличению величины теплоусвоения ванны $\Delta q_в$, МВт, что позволяет соответственно повысить скорость подачи окатышей ($V_{ок}$, кг/с) в ванну печи в соответствии с уравнением регрессии:

$$\Delta q_в = 7{,}15 - 0{,}175 \cdot V_{ок},\ R = 0{,}8. \qquad (10)$$

При этом установили, что рациональным для плавки ЖМО является соблюдение соотношения между скоростями нагрева шлака и металла (v_t, °С/мин) и его обезуглероживанием (v_C, %С/мин) по следующему выражению:

$$v_t^{опт} = K_{опт} \cdot v_C = (119 \pm 7) \cdot v_C,\ °С/мин. \qquad (11)$$

Значение $K_{опт} = v_t/v_C$ соответствует оптимальному уровню перегрева металла над линией ликвидуса ($\Delta t_л$, °С), равному 75 ± 15° С.

Установлено, что в этих условиях при $H_{шл} \geq L_д$ значение $\Delta q_в$ возрастает в 1,5 – 1,8 раза, что способствует снижению [2, 3] удельного расхода электроэнергии на 35 кВт·ч /т на плавку ЖМО в ДСП.

Таким образом, исследования показали [1, 4, 5], что экранирующее действие вспененного шлака, повышенные расходы кислорода и топлива от ТКГ, высокие скорости обезуглероживания металла и плавления ЖМО в ДСП при $\Delta t_л$ = 75 ± 15 °С являются определяющим фактором увеличения доли мощности, излучаемой дугой на ванну металла в 1,5 – 2,0 раза, а это ведет к повышению $\Delta q_в$ и $V_{ок}$ с уменьшением расхода электроэнергии до 35 и более кВт·ч /т при повышенных показателях производительности ДСП.

Показано, что состав окатышей, а также расходы кислорода и угольной пыли, подводимые с помощью ТКГ в шлак, влияют на его окисленность $(FeO)_ш$ и процессы газообразования в нем. В результате пенообразования шлака осуществляется экранирование электрических дуг в ванне дуговой печи, что способствует снижению энергоемкости электроплавки стали.

Список использованных источников

1. Меркер Э.Э., Федина В.В., Харламов Д.А. // Черные Металлы. – 2004. июль–август. – с. 16 – 19.

2. Фомин А.М., Хохлов О.А., Ледовской В.М. и др. // Сталь. – 1988. – №1. – с. 40 – 42.
3. Федина В.В., Меркер Э.Э., Кочетов А.И. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2003. – №11. – с. 24 – 26.
4. Меркер Э.Э., Сазонов А.В., Гришин А.А. // Изв. вузов Черная металлургия. – 2008. – №2. – с. 31 – 33.
5. Меркер Э.Э., Федина В.В., Кочетов А.И. и др. // Электрометаллургия. – 2003. – №9. – с. 43 – 44.
6. Амелинг Д. и др. Исследование процесса шлакообразования в дуговой печи. // Тр. межд. научно–практической конференции, «Современные проблемы металлургического производства». – Волгоград: Волг ГТУ. – 2002 – с. 18–24.
7. Баптизманский В.И., Паниотов Ю.С. Окисленность металла при интенсификации обезуглероживания // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1993. – №4. – с. 8 – 11.

УДК 504.06

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЕМЕРОВСКИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ КУЗБАССКОГО ФИЛИАЛА ОАО «КУЗБАССЭНЕРГО»

Киселева Т.В., Михайлов В.Г.

СибГИУ, г. Новокузнецк
Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово

Производством и распределением электроэнергии, газа и воды занимаются предприятия, вырабатывающие и распределяющие электроэнергию, тепловую энергию и газ, а также предприятия, осуществляющие сбор, очистку и распределение воды.

В 2009 году в Кемеровской области 163 предприятиями было выработано почти 24 млрд. кВт•ч электроэнергии и 42,5 млн. Гкал теплоэнергии. По сравнению с 2008 годом произведено меньше электроэнергии на 8,4 %, а теплоэнергии больше на 4,7 %. В целом индекс промышленного производства по данному виду экономической деятельности в 2009 году по отношению к 2008 году составил 93,1 %.

По массе выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух Кемеровской области предприятия данного обобщенного вида экономической деятельности занимают третье место после предприятий по добыче полезных ископаемых и предприятий обрабатывающих производств. В 2009 году масса выбросов загрязняющих веществ этих предприятий составила более 246 тыс. т, что на 97,5 % объясняется выбросами предприятий по производству, передаче и распределению электроэнергии, газа, пара и горячей воды (более 240 тыс. т).

Большое поступление загрязняющих веществ в атмосферный воздух характеризуется использованием для технологических нужд дешевых, низкосортных и высокозольных углей, а также недостаточным оснащением котельных газоочистными установками. Кроме того, предприятия энергетического комплекса расположены в непосредственной близости от своих потребителей – предприятий черной и цветной металлургии, угольной промышленности и железнодорожного транспорта, что усиливает неблагоприятную экологическую ситуацию. Эти же предприятия осуществляют обслуживание и эксплуатацию жилищного фонда, обеспечивают население электроэнергией, теплом и горячей водой.

Выбросы загрязняющих веществ от предприятий по производству и распределению электроэнергии, газа и воды разнообразны по своему составу. Коммунальные котельные, основным видом топлива для которых служит уголь (экологически менее чистое топливо, чем природный газ), выбрасывают в атмосферу оксиды азота, оксид углерода, диоксид серы, золу углей, сажу, тяжелые металлы, бенз(а)пирен и другие вредные вещества. При сжигании природного газа образуются оксиды азота, оксид углерода и бенз(а)пирен.

Количество выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями данного вида экономической деятельности приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Количество выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферный воздух от предприятий по производству, передаче и распределению электроэнергии, газа, пара и воды

Наименование вещества	Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ, тыс. т	Доля вклада в общую массу выбросов аналогичного загрязняющих веществ по области, %
Всего, в том числе:	*240,312*	*16,7*
Твердые	73,438	46,0
Газообразные и жидкие, из них:	166,874	13,0
диоксид серы	70,322	59,7
оксиды азота (в пересчете на NO_2)	44,670	62,6
оксид углерода	43,701	15,1
углеводороды (без ЛОС)	0,929	0,1
летучие органические соединения (ЛОС)	0,026	0,6
прочие газообразные и жидкие	7,226	50,1

Из таблицы 1 видно, что доминирующими выбросами являются газообразные и жидкие вещества – почти 167 тыс. т. При этом основная масса выбросов загрязняющих веществ приходится на диоксид серы – 70,3 тыс. т, оксиды азота – 44,7 тыс. т и оксид углерода – 43,7 тыс. т (59,7 %, 62,6 % и 15,1 % от количества выбрасываемых аналогичных загрязняющих веществ по области соответственно).

Наряду с выбросами основных загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями данного вида деятельности выбрасываются специфические загрязнители, в том числе: зола углей – почти 62 тыс. т (70,2 % от количества выбрасываемой золы углей по области в целом), углерод (сажа) – 11,1 тыс. т (53,1 %) и оксид азота – 7,2 тыс. т (62,0 %).

Рисунок 1 – Структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по видам экономической деятельности, %

Фактически в атмосферный воздух области поступает без очистки 24,8 % загрязняющих веществ от общего количества загрязняющих веществ. В 2009 году на предприятиях области уловлено 4,4 млн. т загрязняющих веществ, из них утилизировано 2,1 млн. т. Высокая степень очистки выбросов загрязняющих веществ отмечается на предприятиях химического производства (94,6 %), по производству, передаче и распределению электроэнергии, газа, пара и горячей воды (89,8 %), металлургического производства (84,03 %). Самая низкая степень улавливания загрязняющих веществ на предприятиях по производству изделий медицинской техники, средств измерений, оптических приборов и аппаратуры – 7,96 %.

В связи с развитием производства значительно увеличился забор воды из природных водных объектов для осуществления таких видов экономической деятельности, как металлургическое производство (в 3,4 раза), производство машин и оборудования (в 1,7 раз). Также увеличение объема забранных вод произошло при добыче каменного угля и производстве пищевых продуктов. Снизилось потребление свежей воды при сборе, очистке и распределении воды; производстве, передаче и распределении электроэнергии; добыче металлических руд; в химическом производстве и сельском хозяйстве.

Основное количество загрязненных стоков поступает от предприятий, занятых сбором, очисткой и распределением воды (36,4 %), угледобычей (33,0 %), химическим производством (12,8 %). Меньший объем загрязненной воды сбрасывается в металлургии (7,5 %) и при производстве и распределении электроэнергии (6,6 %).

Наибольший объем воды, преимущественно из поверхностных водных объектов, используется в производстве, передаче и распределении электроэнергии, газа, пара и горячей воды. По данным статистической отчетности 2-ТП (водхоз) за 2009 год предприятиями данного вида экономической деятельности забрано около 1500 млн. м^3 воды (таблица 2) из природных объектов, сброшено сточных вод в природные водные объекты – более 1360 млн. м^3.

Таблица 2 – Общие показатели использования воды за 2009 год, млн. м^3

Забрано воды	Использовано свежей воды	Сброс сточных и других вод	Оборотное и повторно-последовательное водоснабжение
1494,1	1513,6	1364,2	1668,7

По сравнению с 2008 годом сброс сточных вод в природные водные объекты снизился почти на 7,5 млн. м^3, при этом объем загрязненных сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты, сократился почти на 5 млн. м^3 или на 9,1 % к объему предыдущего года. По составу сбрасываемых сточных вод основная часть (96,4 %) относится к категории нормативно-чистой (без очистки), и 3,6 % – загрязненной.

Таблица 3 – Образование, использование и размещение отходов на собственных объектах предприятий с учетом отнесения к видам экономической деятельности

Образовано отходов за отчетный год, млнт	Использовано отходов		Размещено отходов на собственных объектах, млн. т		Доля образования отходов
	в организации, млн. т	% от образовавшихся	хранение	захоронение	
Всего отходов					
1764,42	950,17	53,9	780,41	131,93	100,00
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды					
2,71	0,06	2,1	2,40	0,01	0,15

По итогам 2009 года на территории области образовалось более 1760 млн. т отходов производства и потребления. Общий процент использования и утилизации отходов составляет около 53,86 %. В дальнейшем используются: вскрышная порода (на выполнение технического этапа рекультивации нарушенных горными работами земель, для отсыпки дамб, технологических дорог), металлургические съемы, шламы газоочистки, отработанные масла,

шпалы, аккумуляторы, ртутьсодержащие отходы, лом черных металлов, пищевые отходы, бумага и др. При этом, более 97 % образования отходов в общем объеме составляют отходы предприятий по добыче полезных ископаемых и только около 3,0 % образования отходов приходится на остальные виды экономической деятельности, из которых наиболее значимы обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды, строительство, сельское хозяйство.

В Кемерово основной вклад в суммарные выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников внесли предприятия по производству, передаче и распределению электроэнергии, газа, пара и горячей воды – 77,3 %; химического производства – 22,7 %.

Высокая степень улавливания загрязняющих веществ – 94,8 % на предприятиях химического производства; 91,0 % – на предприятиях по производству, передаче и распределению электроэнергии, газа, пара и горячей воды; самая низкая – 0,4 % на предприятиях по сбору, очистке и распределению воды.

Предприятия Кемеровских тепловых сетей Кузбасского филиала ОАО «Кузбассэнерго», относящиеся к производству, передаче и распределению электроэнергии, газа, пара и горячей воды, также оказывают негативное воздействие на окружающую среду (таблицы 4 – 6).

Таблица 4 – Динамика выбросов некоторых загрязняющих веществ в атмосферу Кемеровских тепловых сетей Кузбасского филиала ОАО «Кузбассэнерго» (Заискитимская водогрейная котельная, служба механизации и автотранспорта)

Наименование загрязнителя	Масса выбросов, т			Отклонение			
	г	г	ПДВ	2009/2008		ПДВ	ПДВ
				т	%		
Диоксид серы	416,85	322,91	151,80	- 93,94	- 22,54	2,75	2,13
Оксид углерода	4,17	5,64	27,00	+ 1,47	+ 35,25	0,15	0,21
Оксиды азота	13,35	13,48	10,94	+ 0,13	+ 0,97	1,22	1,23
Сажа	15,33	10,94	7,74	- 4,39	- 28,64	1,98	1,41
Мазутная зола	1,15	1,08	0,52	- 0,07	- 6,09	2,21	2,08

Таблица 5 – Массы сбросов некоторых загрязняющих веществ в водные объекты Кемеровскими тепловыми сетями Кузбасского филиала ОАО «Кузбассэнерго», т

Наименование загрязнителя	Фактическая масса
Сухой остаток	1,945
Сульфаты	0,387
Хлориды	0,024
БПК полная	0,063
Взвешенные вещества	0,058
Нитраты	0,021

Таблица 6 – Сведения об отходах производства и потребления Кемеровских тепловых сетей Кузбасского филиала ОАО «Кузбассэнерго», т

Наименование отходов	Наличие отходов на начало года		Образование отходов за отчетный год		Обезвреживание отходов		Передано другим организациям		Размещение отходов на собственных объектах		Наличие отходов на конец года	
	т	%	т	%	т	%	т	%	т	%	т	%
1 класс	0,000	0,00	0,128	0,01	0,000	0,00	0,128	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00
2 класс	0,005	0,01	0,073	0,01	0,078	100,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00
3 класс	3,915	5,78	2,021	0,23	0,000	0,00	0,000	0,00	5,936	7,86	5,936	7,86
4 класс	0,380	0,56	28,769	3,32	0,000	0,00	29,018	3,37	0,131	0,17	0,131	0,17
5 класс	63,429	93,65	836,73	96,43	0,000	0,00	830,73	96,62	69,429	91,97	69,429	91,97
Итого	67,729	100,00	867,721	100,00	0,078	100,00	859,876	100,00	75,496	100,00	75,496	100,00

Анализ динамики выбросов показывает, что наибольшее увеличение наблюдается по оксиду углерода (на 1,47 т или 35,25 %), а снижение – по диоксиду серы (на 93,94 т или 22,54 %) и саже (на 4,39 т или 28,64 %). По другим исследуемым ингредиентам (оксиды азота и мазутная зола) значительных изменений не наблюдается. Другим важным оценочным показателем качества атмосферного воздуха является соотношение фактической массы загрязнения и предельно допустимого выброса (ПДВ). Здесь максимальное превышение наблюдается в 2008 г. по диоксиду серы (в 2,75 раза) и по мазутной золе (в 2,21 раза).

Если рассматривать структуру использования забранной воды, то 4,0 тыс. $м^3$ использовано на хозяйственно-питьевые нужды, 163,3 тыс. $м^3$ – на производственные и 11,2 тыс. $м^3$ – на другие нужды. После использования воды 143,7 тыс. $м^3$ было передано другим предприятиям.

В таблице 7 представлены основные эколого-экономические показатели исследуемого предприятия. Здесь необходимо отметить, что большая часть текущих затрат связана с охраной и рациональным использованием водных ресурсов (7831,3 тыс. руб.), в том числе выплачено другим предприятиям 6002,0 тыс. руб.

Таблица 7 – Сведения о текущих затратах на охрану окружающей среды и экологических платежах Кемеровских тепловых сетей Кузбасского филиала ОАО «Кузбассэнерго»

Показатель	Значение, тыс. руб.
Текущие затраты на охрану окружающей среды, всего	8678,7
из них: амортизационные отчисления на восстановление основных фондов по охране окружающей среды	101,7
на охрану и рациональное использование водных ресурсов	7831,3
в т.ч. выплачено другим предприятиям за прием и очистку сточных вод	6002,0
на охрану атмосферного воздуха	675,3
на охрану окружающей среды от отходов производства и потребления	172,1
в т.ч. выплачено другим предприятиям за прием, хранение и уничтожение отходов	172,1
Среднегодовая полная учетная стоимость основных фондов по охране окружающей среды	17641,4
в том числе: по охране и рациональному использованию водных ресурсов	17611,0
по охране атмосферного воздуха	30,4
Плата за допустимые выбросы (сбросы) загрязняющих веществ всего:	16,3

Продолжение таблицы 7

Показатель	Значение, тыс. руб.
в том числе: в водные объекты	0,1
в атмосферный воздух	16,2
Плата за сверхнормативные выбросы (сбросы) загрязняющих веществ всего:	133,3
в атмосферный воздух	100,3
за размещение отходов	33,0
Плата за допустимые и сверхнормативные выбросы (сбросы) загрязняющих веществ	149,6

С целью снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду и улучшения основных эколого-экономических показателей на предприятиях Кемеровских тепловых сетей Кузбасского филиала ОАО «Кузбассэнерго» был реализован ряд технологических и организационно-экономических мероприятий:

1. частичная замена угля мазутом;
2. улучшение качества топлива, зольность которого сократилась до 10 %;
3. внедрение новых технологий газоочистки с увеличением КПД газоочистного оборудования;
4. разработка и согласование с органами Роспотребнадзора и Южно-Сибирским управлением Ростехнадзора ведомственный том ПДВ для Кемеровских тепловых сетей Кузбасского филиала ОАО «Кузбассэнерго»;
5. устройство ливневой канализации на территории базы РЭБ Заискитимского ТСР;
6. разработка и согласование проекта расчетной санитарно-защитной зоны базы РЭБ Заискитимского ТСР;
7. производственный контроль за выбросами загрязняющих веществ в окружающую среду под факелом.

В целом можно сделать вывод об эффективной природоохранной деятельности предприятия, что не исключает необходимости снижения уровня физического и морального износа основных производственных фондов, а также перехода на наилучшие доступные технологии в соответствии с современными российскими и международным требованиями, в том числе в рамках международных стандартов ИСО.

Список использованных источников

1. Материалы к государственному докладу «О состоянии и охране окружающей природной среды Кемеровской области в 2009 году» [Электронный ресурс]. - Кемерово: ГУ «Областной комитет природных ресурсов», 2010.

УДК 519.876.5:669

РЕАЛИЗАЦИЯ СТАЦИОНАРНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ И РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВОЙСТВА КРИТИЧЕСКОГО ИСТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА

Кожемяченко В.И., Рыбенко И.А., Мочалов С.П., Цымбал В.П.

СибГИУ, г. Новокузнецк

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, направление 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 си-

стемах. 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

$$P = \frac{m^г}{V^г \mu} RT^г, \text{ Па}, \tag{1}$$

где $m^г$ – масса газовой фазы, кг;
$V^г$ – объем, занимаемый газовой фазой, м^3;
μ – молярная масса газовой фазы, кг/моль;
R – универсальная газовая постоянная;
$T^г$ – температура газовой фазы, К.

Молярную массу газовой фазы выразим соотношением

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

где $моль^г$ – число молей газовой фазы, моль;
$N^г$ – 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]

$$U = \sqrt{2c_pT\left(1-\left(\frac{P'}{P_{вх}}\right)^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}}\right)}, \qquad (3)$$

где c_p – эффективная теплоемкость потока, Дж/(кг·К);
$P_{вх}$ – 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

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

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

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

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

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

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

где $M = \frac{U}{a}$ – число Маха;
$a = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1}R_1T}$ – местная скорость звука, м/с;
$R_1 = \frac{R}{\mu}$ – 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

$$\bar{\gamma} = \frac{c_v + \bar{R}}{c_v}, \tag{7}$$

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

$R_1^г = \dfrac{R}{\mu^г}$ – постоянная газовой фазы, Дж/(кг·К);

x_1 – массовая доля газовой фазы в потоке;

$\mu^г$ - 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]:

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

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

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

ρ – плотность вещества в зоне, кг/м^3;

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

Поэтому расчет может быть итерационным, многоэтапным, с последовательным изучение 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 дожигания *CO* 10, 20, 30, 40 и 50%. Сводная характеристика параметров расчетов для разных степеней дожигания *CO* приведена в таблице 1.

Рисунок 1 – Компоновочная схема агрегатов

Таблица 1 – Основные параметры расчета для разных степеней дожигания *CO*

Параметр	Степень дожигания *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 расчета 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 дожигания *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: Уч. пособие / Под редакцией 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 парожидкосткостных 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. -463с.

УДК 669.187.15-198

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ В ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ

Хмелева С.Л., Падалко А.Г.

СибГИУ, г. Новокузнецк

Окисление углерода является важнейшим процессом плавки, влияющим на развитие других физических и химических процессов в ванне. Описанию этого процесса в литературе уделено большое внимание. Существуют различные модели обезуглероживания при выплавке стали в ДСП-100. По принципу работы их можно разделить на балансовые [1, 2], такие модели разрабатывали Еднерал Ф. П. , Филиппов А. Ф., Поволоцкий Д.Я., и кинетические [3, 4, 5], которые рассматривали в своих работах Григорян В.А., Меджибожский М.Я., Чуйко Н. М.. Также их можно подразделить на статические и динамические.

Для обеспечения наибольшего информационного подобия мы разрабатываем динамическую модель.

Углерод в жидкой стали окисляется по двум реакциям:

$$[C] + [O] = \{CO\}, \tag{1}$$

$$[C] + 2[O] = \{CO_2\}. \tag{2}$$

Температурная зависимость реакции (1) описывается уравнением Фува и Чипмана [5]:

$$\lg K_C = \frac{\lg(p_{CO})}{[C]\cdot[O]\cdot f_{[C]}\cdot f_{[O]}} = \frac{1168}{T} + 2{,}07, \tag{3}$$

где P_{CO} – парциальное давление CO, Па;
$f_{[C]}$ – коэффициент активности углерода в расплаве;
$f_{[O]}$ – коэффициент активности кислорода в расплаве.

Уравнение константы можно записать в виде:

$$m = \frac{[C]\cdot[O]}{p_{CO}} = 1\cdot K_C \cdot f_O \cdot f_O \cdot \qquad (4)$$

При постоянном давлении $m = [C]\cdot[O]$. Значение m было впервые определено Гамильтоном [5], результаты, которых были затем, в общем, подтверждены другими авторами. По данным опытов было установлено, что при t = 1620 °С, $P_{CO} = 10^5$ Па и низком содержании углерода в металле m = 0,0025.

Соответственно, для реакции (2)

$$\lg K_{[C]\to CO_2} = \frac{\lg(P_{CO_2})}{[C]\cdot[O]^2 \cdot f_{[C]} \cdot f_{[O]}^2} = \frac{10175}{T} - 2{,}88. \qquad (5)$$

Предположив, что при низком содержании углерода [10]:

$$f_{[C]}\cdot f_{[C]} = 1 \qquad (6)$$

определяем

$$P_{CO} = K_{[C]}\cdot[C]\cdot[O]\cdot 10^5. \qquad (7)$$

Подставляем это значение в выражение (3) с учётом, что:

$$P_{CO_2} = P_{общ.} - P_{CO}, \qquad (8)$$

получаем уравнение второй степени:

$$[O]^2 + \frac{K_{[C]}}{K_{[C]\to CO_2}}\cdot[O] - \frac{P_{общ.}\cdot 10^{-5}}{K_{[C]\to CO_2}\cdot[C]} = 0, \qquad (9)$$

решив которое, находим равновесное содержание кислорода в металле $[O]_{р.с}$:

$$[O]_{р.с.} = -\frac{K_{[C]}}{2\cdot K_{[C]\to CO_2}} + \sqrt{\left(\left(\frac{K_{[C]}}{2\cdot K_{[C]\to CO_2}}\right)^2 + \frac{P_{общ.}\cdot 10^{-5}}{K_{[C]\to CO_2}\cdot[C]}\right)}. \qquad (10)$$

Для выяснения механизма образования газовых пузырей в ванне, обратимся к [3, 4].

Внешнее давление на пузырьки:

$$P_{CO} = P_{вн.} = P_{атм.} + (H_{Me} \cdot \rho_{Me} + H_{шл} \cdot \rho_{шл}) \cdot g, \quad (11)$$

где $P_{атм.}$ – атмосферное давление, Па;
g – ускорение земного притяжения, м/с^2;
H_{Me} – высота слоя металла над пузырьком, м;
$H_{шл}$ – шлака над пузырьком, м;
ρ_{Me} – плотность металла (~ 7000 кг/м^3);
$\rho_{шл}$ – плотность шлака (~ 3000 кг/м^3).

При $H_{шл} < 0{,}15$ м пренебрегают значением $H_{шл} \cdot \rho_{шл} \cdot g$, что компенсирует отсутствие учёта P_{H_2} и P_{N_2} в пузырьках. Поэтому в практических расчётах:

$$P_{CO} \approx 10^5 + H_{Me} \cdot \rho_{Me} \cdot g. \quad (12)$$

Так как окисление растворённого в ванне углерода идёт в верхней части ванны, то принимается $H_{Me} = 0{,}3$ м.

Содержание кислорода в жидком металле при равновесии его со шлаком зависит от активности оксида железа в шлаке $\alpha_{(FeO)}$ и константы распределения L_O:

$$[O]_{р.ш.} = \alpha_{(FeO)} \cdot L_O. \quad (13)$$

При расчете образования (FeO) в шлаке будем использовать теорию регулярных растворов [3, 4, 5]. Коэффициент распределения кислорода записывается следующим образом:

$$L_O = 10^{-\frac{6320}{T} + 0{,}734}. \quad (14)$$

Активность (FeO):

$$\alpha_{(FeO)} = \gamma_{(FeO)} \cdot x_{(FeO)}, \quad (15)$$

где $\gamma_{(FeO)}$ – коэффициент активности, при средней основности шлака, $\gamma_{(FeO)} \approx 2{,}5$;
$x_{(FeO)}$ – концентрация (FeO) в шлаке, %.

Скорость образования (FeO) в шлаке за счёт продувки воздухом или газообразным кислородом находим по формуле:

$$\vartheta_{(FeO),1} = 1{,}42 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_{O_2} \cdot x_{O_2} \cdot Q_{O_2} \cdot \frac{(100 - [C])}{100}, \quad (16)$$

где α_{O_2} – коэффициент усвоения кислорода ванной (для ДСП–100 $\alpha_{O_2} = 0{,}8$);
Q_{O_2} – интенсивность подвода технического кислорода, м^3/мин;

$1{,}42 \cdot 10^{-3}$ – переводной коэффициент из молей в %;

x_{O_2} – доля кислорода в дутье (для технического кислорода равна 0,995).

Скорость образования (FeO) в шлаке за счёт окисления углерода:

$$\vartheta_{(FeO),\,2} = -\frac{72}{12} \cdot \vartheta_C . \qquad (17)$$

Суммарная скорость образования (FeO) в шлаке:

$$\vartheta_{(FeO)} = \left(\vartheta_{(FeO),1} + \vartheta_{(FeO),2}\right) \cdot \frac{M_{Me}}{M_{шл}}, \qquad (18)$$

где M_{Me} – масса металла;

$M_{шл}$ – масса шлака.

Текущая масса шлака рассчитывается по формуле:

$$M_{шл} = M_{шл,нач} + \frac{M_{шл,нач}}{100} \cdot \vartheta_{(FeO)} \cdot (t - t_0), \qquad (19)$$

текущее содержание (FeO) в шлаке можно рассчитать по формуле:

$$(FeO) = (FeO)_{нач} + \vartheta_{(FeO)} \cdot (t - t_0), \qquad (20)$$

где t_0 – начало окислительного процесса;

t – продолжительность окислительного процесса;

$(FeO)_{нач}$ – начальное содержание (FeO) в шлаке.

Содержание кислорода в металле:

$$[O] = [O]_{р.с.} + \Delta[O], \qquad (21)$$

где $\Delta[O] = 0{,}0004$ по данным [6].

Разность концентраций кислорода в металле при равновесии со шлаком и в объёме металлической ванны:

$$\Delta[O]_{м.ш.} = [O]_{р.ш.} - [O] = \alpha_{(FeO)} \cdot L_O - [O], \qquad (22)$$

значительно больше, чем разность концентраций кислорода в объёме металла и при равновесии с углеродом, т.е.

$$\Delta[O]_{м.ш.} \gg \Delta[O]. \qquad (23)$$

Собственно механизм окисления углерода рассматривается многими исследователями, например [3, 4, 5]. По мнению большинства исследователей, в условиях чистого кипения ванны электропечи зарождение пузырьков CO возможно лишь на шероховатой твёрдой поверхности, т.е. в порах поди-

ны размером от 0,1 до 1 мм, не смачиваемых металлом и заполненных газом, данный процесс подробно рассматривается в [3].

Хотя пузырьки и зарождаются только на подине, в конечном итоге реакция $[C] \rightarrow \{CO\}$ протекает во всём объёме металла, причём более энергично в верхних его слоях. Последнее обусловлено тем, что при всплывании пузырька непрерывно увеличивается его объём и поверхность, по мере снижения ферростатического давления столба металла уменьшается равновесное $[O]_{р.с.}$ и растёт сверхравновесное $[O]$ - $[O]_{р.с.}$ содержание кислорода.

В каждом горизонте ванны скорость выгорания углерода ϑ_C, зависит от скорости диффузии кислорода из объёма металла к поверхности пузырьков:

$$\vartheta_{C,1} = \frac{12}{16} \cdot \beta_O \cdot \left([O] - [O]_{р.с.}\right) \cdot \frac{S_{Пуз.}}{V_{Me} \cdot d}, \tag{24}$$

где β_O – коэффициент массопереноса кислорода, ($10^{-3} \div 10^{-5}$ м/с);
$S_{Пуз.}$ – площадь поверхности пузырьков, м^2;
d – коэффициент учитывающий накопление кислорода в металле:

$$d = 1 + 0{,}75 \cdot \frac{P_{CO} \cdot 10^{-5}}{K_C \cdot [C]^2} \cdot \left(1 + \frac{0{,}22 \cdot M_{шл}}{\gamma_{(FeO)} \cdot L_O \cdot M_{Me}}\right), \tag{25}$$

где V_{Me} – объём металла, м^3.

Скорость окисления углерода на границе раздела металл–шлак можно рассчитать по формуле:

$$\vartheta_{C,2} = \frac{12}{16} \cdot \beta_O \cdot \left([O]_{р.ш.} - [O]\right) \cdot \frac{S_{ш.м.}}{V_{Me} \cdot d}, \tag{26}$$

где $S_{ш.м.}$ – площадь поверхности раздела фаз шлак–металл, м^2.

Скорость прямого окисления углерода кислородом дутья при продувке ванны рассчитывается по формуле:

$$\vartheta_{C,3} = 1{,}42 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_{O_2} \cdot x_{O_2} \cdot Q_{O_2} \cdot \frac{[C]}{100}, \tag{27}$$

где $1{,}42 \cdot 10^{-3}$ – переводной коэффициент из молей в м^3.

Суммарная скорость окисления углерода будет равна:

$$\vartheta_C = \vartheta_{C,1} + \vartheta_{C,2} + \vartheta_{C,3}. \tag{28}$$

Окисление углерода характеризуется уравнением:

$$\vartheta_C = -\frac{d[C]}{dt}, \qquad (29)$$

интегрирование которого дает зависимость концентрации углерода от времени:

$$[C] = [C]_{нач} - \vartheta_C \cdot (t - t_0), \qquad (30)$$

где $[C]_{нач}$ – начальная концентрация углерода, %;
$[C]$ – текущая концентрация углерода, %.

Для анализа роста всплывающих пузырьков воспользуемся расчетами из [3, 5].

Основные параметры пузырька:

а) объём пузырька, м^3: $V_{Пуз.} = 0{,}34 \cdot \pi \cdot r^3$, (31)

б) полная поверхность пузырька, м^2: $S = 2{,}36 \cdot \pi \cdot r^2$, (32)

где r – радиус пузырька, м.

Изменение массы пузырька за счёт диффузии кислорода из объёма металла через пограничный слой к поверхности пузырька и образования на этой поверхности CO определяется по формуле:

$$n = \left[n_{нач}^{\frac{1}{2}} + a \cdot \left(P_{CO,нач}^{\frac{1}{2}} - P_{CO}^{\frac{1}{2}} \right) - \frac{b}{3} \cdot \left(P_{CO,нач}^{\frac{3}{2}} - P_{CO}^{\frac{3}{2}} \right) \right]^2, \qquad (33)$$

где

$$a = \frac{7{,}06 \cdot \beta_0 \cdot [O] \cdot (R \cdot T)^{\frac{1}{2}}}{100 \cdot A_O \cdot g^{\frac{1}{2}}}, \qquad (34)$$

$$b = \frac{7{,}06 \cdot \beta_0 \cdot 10^{-5} \cdot (R \cdot T)^{\frac{1}{2}}}{100 \cdot A_O \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot K_{[C]} \cdot [C]}. \qquad (35)$$

Для расчётов по приведённым выше уравнениям необходимо знать β_O, $[O]$ при данном $[C]$ и начальную массу пузырька $n_{нач}$.

Необходимое для расчётов значение P_{CO} определяется по формуле (12), а $P_{CO,\,нач}$ определяется по формуле:

$$P_{CO,\,нач} = P_{общ} + \rho_{Me} \cdot g \cdot H_{Me,\,\max}, \qquad (36)$$

где $H_{Me,\,\max}$ – максимальная толщина слоя металла, м.

Радиус пузырька можно рассчитать по формуле:

$$r = \left(\frac{V_{Пуз.}}{0{,}34 \cdot \pi} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{n \cdot R \cdot T}{0{,}34 \cdot \pi \cdot P_{CO}} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (37)$$

Для оценки площади поверхности металл-шлак воспользуемся данными расчетов [4, 6]:

$$S_{ш.м.} = S_{зерк.ван.} + 0{,}1 \cdot S_{Пуз.}, \quad (38)$$

$$S_{Пуз.} = S \cdot N_{Пуз.}, \quad (39)$$

где $N_{Пуз.}$ – количество пузырей CO в кипящей ванне печи;

$S_{зерк.ван.}$ – площадь зеркала ванны, м^2.

Согласно [4], основная причина вспенивания шлака – выделение пузырьков CO.

Количество пузырей можно рассчитать по формуле:

$$N_{Пуз.} = \frac{V_{CO}}{V_{Пуз.}}, \quad (40)$$

где V_{CO} – объём CO в ванне, м^3.

Объём CO в ванне определим по выражению:

$$V_{CO} = (V_{Me} + V_{Шл}) \cdot \alpha_{CO}, \quad (41)$$

где α_{CO} – относительное газосодержание:

$$\alpha_{CO} = \frac{\varphi}{1 - \varphi}, \quad (42)$$

где

$$\varphi = 0{,}59 \cdot \sqrt{\frac{\frac{28}{12} \cdot \vartheta_C}{0{,}25 \cdot 100 \cdot \frac{S_{зерк.ван.}}{M_{Me}} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \sigma_{ж}}{\rho_г}}}}. \quad (43)$$

В результате получена математическая модель окислительно-восстановительных процессов, которая учитывает формирование пузырьков и содержание углерода по ходу плавки.

На рисунке 1 представлена полученная блок-схема математической модели обезуглероживания.

Рисунок 1 – Блок-схема математической модели обезуглероживания

Данная модель может быть использована для исследования технологических процессов и прогнозирования содержания углерода в металле. Результаты моделирования дают возможность снизить расходы компонентов шихты. Так же возможно получение экономии средств за счет снижения количества переназначаемых плавок. Возможна экономия средств за счет уменьшения длительности плавки примерно на 2,5 минуты, что обеспечит экономию рабочего времени и энергозатрат, так же за счет этого возможно увеличение годового количества плавок.

Исследование технологических процессов путем математического моделирования показало, что применяемые технологические режимы ведения плавки не являются оптимальными, и может быть достигнута существенная экономия материальных ресурсов путем изменения технологии в соответствии с результатами полученными при математическом моделировании электросталеплавильного процесса.

Список использованных источников

1. Еднерал Ф. П., Филипов А. Ф. Расчёты по электрометаллургии стали и ферросплавов. М.: «Металлургия», 1962.
2. Поволоцкий Д. Я. Электрометаллургия стали и ферросплавов. М.: «Металлургия», 1984.
3. Григорян В. А., Белянчиков Л. Н., Стомахин А. Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: «Металлургия», 1987.
4. Меджибожский М. Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. Киев-Донецк, Головное издательство издательского объединения «Вища Школа», 1986.
5. Чуйко Н. М., Чуйко А. Н. Теория и технология электроплавки стали. М.: «Металлургия», 1963.
6. Григорян В. А., Стомахин А. Я., Пономаренко А. Г., Белянчиков Л. Н., Уточкин Ю. И., Котельников Г. И., Островский О. И. Физико-химические расчёты электросталеплавильных процессов. М.: «Металлургия», 1989.

СПИСОК АВТОРОВ

А

Ансимов А.А. 318

Б

Болдин М.В. 91
Бугрин И.С. 113
Буинцев В.Н. 287
Бурыкин А.А. 172, 179

В

Васильев Н.Н. 215

Г

Галевский Г.В. 60
Горенский Б.М. 31, 118, 125
Горохов Ю.В. 81
Гронь Д.Н. 31
Губанов И.Ю. 81
Гуревич С.И. 240

Д

Денисов М.А. 113

Е

Ермакова Л.А. 258, 267

Ж

Жидков Д.А. 172

З

Зиборов А.Ю. 130
Зимин В.В. 155

И

Истомин А.С. 198

К

Калашников С.Н. 69
Капустина С.В. 118, 125
Карпенко Г.А. 296
Кирякова О.В. 118, 125
Киселева Т.В. 75, 202, 222, 331
Климов В.Ю. 165
Кожемяченко В.И. 339
Кожухов А.А. 296, 305
Козлов А.В. 187
Корабельников И.А. 222
Королькова Л.Н. 311
Краснобаев А.В. 23, 172, 191
Кулаков С.М. 155

Л

Лавров В.В. 172, 179
Лапина Л.А. 118, 125
Левченко С.П. 155
Лежнев С.Н. 55
Липунов Ю.И. 209
Лубяная С.В. 254
Лубяной Д.А. 247
Лубяной Д.Д. 254
Любанова А.Ш. 130

М

Манкевич Е.И. 234
Маслова Е.В. 75
Меркер Э.Э. 296, 305, 318, 325
Милованов М.М. 262
Михайлов В.Г. 331
Мочалов П.С. 65, 69
Мочалов С.П. 13, 47, 65, 69, 339

Н

Найзабеков А.Б. 55
Некрасова Е.В. 209
Нисс Ю.С. 202
Новикова Н.В. 23
Ноздрин И.В. 60

О

Огнев А.М. 86, 292
Оленников А.А. 240, 275, 281

П

Павловец В.М. 227
Падалко А.Г. 215, 240, 275, 347
Панин Е.А. 55
Перминов А.И. 187

Р

Раева О.В. 138

Речкалов А.В. 86
Руднева В.В. 60
Рыбенко И.А. 13, 65, 339
Рыболовлев В.Ю. 191
Рыбушкин А.А., 47

С

Сазонов А.В. 305, 325
Смирнова Л.Г. 13
Солопко И.В. 81
Сорокин А.С. 140, 146
Спирин Н.А. 23, 172, 179, 191, 198
Старцева М.В. 209
Суздальцев Е.В. 47
Сухоросов М.Г. 179

Т

Ткачев А.С. 305

Ф

Фейлер О.В. 138

Х

Харламов Д.А. 318
Хмелева С.Л. 347

Ц

Цымбал В.П. 5, 13, 37, 47, 95, 281, 339

Ч

Черепанов А.Н. 149
Черепанова В.К. 149
Черменёв Е.А. 325

Ш

Шендриков А.Е. 258
Шестаков И.Я. 138
Ширяев В.И. 234
Шумина Т.О. 198

Щ

Щипанов К.А. 198

Я

Ярошенко Ю.Г. 209

СОДЕРЖАНИЕ

ОТЗЫВЫ ВЫПУСКНИКОВ И СТУДЕНТОВ 3

Цымбал В.П.
30 лет деятельности кафедры «Информационные технологии в металлургии». 5

Цымбал В.П., Мочалов С.П., Рыбенко И.А., Смирнова Л.Г.
Представление научных направлений кафедры «Информационные технологии в металлургии» на основе граф-индекса 13

Спирин Н.А., Новикова Н.В., Краснобаев А.В.
Проблемы создания современных информационно-моделирующих систем в металлургии 23

Гронь Д.Н., Горенский Б.М.
Построение математической модели электролитического рафинирования меди 31

Цымбал В.П.
Дискуссионные вопросы синергетической теории управлении и самоорганизация термодинамических систем 37

Цымбал В.П., Мочалов С.П., Рыбушкин А.А., Суздальцев Е.В.
О создании региональной металлургии для развития восточных районов страны на основе мини-заводов опережающего научно-технического уровня 47

Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А.
Использование программного комплекса «DEFORM 2D/3D» в освоении новой технологии деформирования - совмещенного процесса «прокатка-прессование». 55

Ноздрин И.В., Галевский Г.В., Руднева В.В.
Моделирование высокотемпературных химических равновесий в хром-борсодержащих системах 60

Рыбенко И.А., Мочалов С.П., Мочалов П.С.
Моделирование стационарных режимов горения ВУТ в адиабатической камере 65

Калашников С.Н., Мочалов С.П., Мочалов П.С.
Разработка динамической модели процесса сжигания ВУТ в вихревой топке 69

Киселева Т.В., Маслова Е.В.
Анализ информационных рисков 75

Горохов Ю.В., Губанов И.Ю., Солопко И.В.
Программное обеспечение расчета технологических параметров непрерывного прессования методом конформ 81

Огнев А.М., Речкалов А.В.
АСУ ТП ДСП-40Н1 литейно-прокатного завода в г. Ярцево 86

Болдин М.В.
Информационно-обучающая система для исследования процесса цементации 91

Цымбал В.П.
Зарождение и развитие научной идеи (на примере создания самоорганизующегося струйно-эмульсионного реактора) 95

Денисов М.А., Бугрин И.С.
Моделирование системы контроля температуры нагревающегося окисленного металла 113

Горенский Б.М., Кирякова О.В., Капустина С.В., Лапина Л.А.
Информационно-советующая система управления металлургическим объектом 118

Лапина Л.А., Горенский Б.М., Кирякова О.В., Капустина С.В.
Обучение технологии адаптивного управления с помощью виртуальной СППР плавки в печи Ванюкова 125

Зиборов А.Ю., Любанова А.Ш.
Оптимизация равномерности течения металла при непрерывном прессовании 130

Раева О.В., Шестаков И.Я., Фейлер О.В.
Электрохимический способ очистки сточных вод переменным током 138

Сорокин А.С.
Моделирование характеристик на основе строгих биподобия и бимоделирования 140

Сорокин А.С.
Моделирование характеристик на основе отношений между строгим биподобием и марковским процессом 146

Черепанова В.К., Черепанов А.Н.
Математическая модель образования стеклокристаллической структуры при охлаждении силикатных расплавов 149

Зимин В.В., Кулаков С.М., Левченко С.П.
О нормативной модели управления изменениями ИТ-сервисов 155

Климов В.Ю.
Реализация объектно-подобных структур средствами реляционных БД 165

Лавров В.В., Бурыкин А.А., Спирин Н.А., Краснобаев А.В., Жидков Д.А.
Создание системы мониторинга отчетных показателей доменного производства в корпоративной сети ОАО «ММК» на основе инструмента REPORTING SERVICES 172

Лавров В.В., Бурыкин А.А., Спирин Н.А., Сухоросов М.Г.
Моделирование функций автоматизированной системы анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха в среде ALLFUSION PROCESS MODELER 179

Козлов А.В., Перминов А.И.
Информационная система обработки электронных платежей 187

Рыболовлев В.Ю. , Краснобаев А.В., Спирин Н.А.
Реализации АСУ ТП доменной плавкой на ОАО «ММК»..... 191

Щипанов К.А., Спирин Н.А., Истомин А.С., Шумина Т.О.
Разработка математических моделей и программного обеспечения для расчета состава шихты и выбора дутьевых параметров при задувке доменной печи..... 198

Нисс Ю.С., Киселева Т.В.
Современные подходы к построению моделей систем менеджмента качества в ВУЗах 202

Старцева М.В., Некрасова Е.В., Липунов Ю.И., Ярошенко Ю.Г.
Численное моделирование теплообмена при регулируемом охлаждении тел различной формы 209

Васильев Н.Н., Падалко А.Г.
Автоматизированная система расчетов с пользователями Интернет услуг..... 215

Корабельников И.А., Киселева Т.В.
Системы поддержки принятия решений в информационных технологиях 222

Павловец В.М.
Технологическая схема получения железорудного сырья с регламентированными структурными свойствами 227

Манкевич Е.И., Ширяев В.И.
Об идентификации возмущений в динамических системах 234

Гуревич С.И., Падалко А.Г., Оленников А.А.
Разработка системы автоматизации лабораторной установки низкотемпературного моделирования процессов в агрегата струйно-эмульсионного типа 240

Лубяной Д.А.
Применение современных технологий для рафинирования железоуглеродистых расплавов на ОАО «ЗСМК». 247

Лубяной Д.Д., Лубяная С.В.
Инновационные технологии производства чугуна в малых индукционных печах 254

Ермакова Л.А., Шендриков А.Е.
Разработка электронных образовательных ресурсов для дистанционного обучения 258

Милованов М.М.
Разработка инструментальной системы имитационного моделирования бизнес-процессов предприятия 262

Ермакова Л.А.
Теоретический анализ механизма и результаты математического моделирования горения суспензионного угольного топлива 267

Оленников А.А., Падалко А.Г.
Лабораторный комплекс для автоматизированного низкотемпературного эксперимента 275

Оленников А.А., Цымбал В.П.
Моделирование структур утилизации энергии отходящих газов металлургических агрегатов 281

Буинцев В.Н.
Использование математического моделирования для повышения качества рельсового проката 287

Огнев А.М.
Электрическая дуга, реактивность. Электрические характеристики печи 292

Кожухов А.А., Меркер Э.Э., Карпенко Г.А.
Разработка алгоритма расчета газоструйной пылеочистки над зоной продувки кислородного конвертера 296

Ткачев А.С., Кожухов А.А., Меркер Э.Э., Сазонов А.В.
Расчет распределения потоков излучения дуг в дуговых сталеплавильных печах при их работе на полых электродах 305

Королькова Л.Н.
Моделирование изменения температуры и толщины оболочки при разливке стали на МНЛЗ 311

Меркер Э.Э., Харламов Д.А., Ансимов А.А.
Разработка модели энергосберегающей системы управления режимом сжигания топлива во вращающейся обжиговой печи 318

Черменёв Е.А., Меркер Э.Э., Сазонов А.В.
Влияние шлакового режима на параметры электроплавки окатышей в дуговой печи.....325

Киселева Т.В., Михайлов В.Г.
Исследование основных эколого-экономических показателей Кемеровских тепловых сетей Кузбасского филиала ОАО «КУЗБАССЭНЕРГО».....331

Кожемяченко В.И., Рыбенко И.А., Мочалов С.П., Цымбал В.П.
Реализация стационарных колебательных режимов в струйно-эмульсионном металлургическом процессе и расчет конструктивных параметров с использованием свойства критического истечения двухфазного потока 339

Хмелева С.Л., Падалко А.Г.
Математическое моделирование процесса обезуглероживания в электродуговой печи 347

СПИСОК АВТОРОВ.....356

СОДЕРЖАНИЕ.....358

Научное издание

МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ

Труды 3-й Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-летию кафедры «Информационные технологии в металлургии»

Под редакцией Мочалова С.П., Цымбала В.П.

Техническое редактирование и компьютерная верстка Кожемяченко В.И.

Статьи представлены в авторской редакции

Подписано в печать 09.03.2011 г.
Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 21,58. Уч.-изд. л. 22,95. Тираж 200 экз. Заказ 139.

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ