

Проректор по науке ФГАОУ ВО
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина»,

Б.Н. Ельцина».

Кружаев В. В.

20 Г



Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
на диссертацию Рыбенко Инны Анатольевны
«Развитие теоретических основ и разработка
ресурсосберегающих технологий прямого восстановления металлов
с использованием метода и инструментальной системы
моделирования и оптимизации»
на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Поиск путей снижения затрат на извлечение металлов из природного и техногенного сырья является актуальной, и, в тоже время, сложной задачей, которая требует многовариантной проработки. Такая проработка эффективна при использовании оптимизационных методов на основе анализа закономерностей развития физико-химических процессов, протекающих в том или ином агрегате. Многовариантная проработка с использованием промышленных экспериментов которые, как правило, дороги, труднореализуемы, а иногда и невозможны. Использование цифровых технологий позволяет очертить круг наиболее перспективных решений. В связи с этим диссертационная работа Рыбенко И.А., посвященная созданию методов и инструментальных средств моделирования и оптимизации, а также применению этих средств при совершенствовании технологий извлечения металла из природного и техногенного сырья и легирования стали с использованием оксидных материалов и разработке принципиально новых ресурсосберегающих технологий является, безусловно, актуальной.

Планы руководства страны на прорывное развитие народного хозяйства в ближайшие годы ставит определенные задачи перед металлургической промышленностью, основными из которых являются: снижение энерго- и материалоемкости производства, повышение конкурентоспособности за счет повышения качества продукции, разработка новых технологий и агрегатов. Одним из

путей решения поставленных задач является использование цифровых технологий. Сформулированные и реализованные в диссертационной работе подходы к использованию цифровых технологий на базе физико-химических моделей могут быть широко использованы при решении практических задач как в черной, так и цветной металлургии.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Автором диссертационной работы выполнен большой объем вычислительных экспериментов и исследований, позволивший получить новые знания и практические рекомендации по оптимизации технологических режимов ряда ресурсосберегающих технологий, направленных на прямое восстановление металлов. К числу наиболее существенных научных результатов, обладающих новизной, можно отнести следующее:

- метод системного решения комплекса взаимосвязанных задач по определению оптимальных условий протекания восстановительных процессов в технических системах на основе использования термодинамических характеристик протекающих реакций;

- методика термодинамического моделирования для определения оптимальных условий восстановления металлов из оксидных систем и показателей, отражающих окислительно-восстановительный потенциал системы;

- оптимальные соотношения компонентов в термодинамических системах $Fe-O-C$, $Fe-O-H-C$, $Fe-Mn-O-C$, обеспечивающие необходимый температурный режим и максимальную степень восстановления металлов;

- оптимальные термодинамические условия и соотношения компонентов в системе $Ti-Fe-C-O-Si-Al$, обеспечивающие полное восстановление железа и перевод высших оксидов титана в низшие без образования карбидов

- оптимальные параметры процессов восстановления никеля из никелевого концентрата и ванадия из конвертерного ванадиевого шлака, обеспечивающих максимальную степень извлечения металлов;

- разработанный и реализованный в инструментальной системе «Инжиниринг-металлургия» комплекс математических моделей, описывающих взаимосвязь параметров потоков и физико-химических процессов в агрегате струйно-эмульсионного типа, представленном как реактор текущего равновесия;

- теоретические основы новых технологий в агрегате струйно-эмульсионного типа: получения металла из чугуна и окалины; прямого восстановления металла из пылевидных железосодержащих материалов; получения марганцевых сплавов; переработки титано-магнетитовых концентратов; прямого восстановления железа с попутным получением высококалорийного синтез-газа.

Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов

Результаты диссертации являются основой для разработки новых и совершенствования существующих ресурсосберегающих металлургических технологий, основанных на процессах прямого восстановления металлов:

- создана инструментальная система «Инжиниринг-Металлургия», пред-

ставляющая взаимосвязанную систему математических моделей, методов оптимизации и баз данных, реализованная в виде комплекса программ применительно к решению широкого круга оптимизационных задач ряда металлургических технологий;

- разработаны и апробированы на серии плавов в крупномасштабной опытной установке агрегата струйно-эмульсионного типа оптимальные режимы ресурсосберегающих технологий: получения металла из чугуна и окалины с возможностью переработки пылевидных железосодержащих материалов в струе чугуна; прямого восстановления металла из пылевидных руд и железосодержащих техногенных материалов; получения марганцевых сплавов из бедных мелкофракционных карбонатных и оксидных руд; переработки титаномагнетитового концентрата с практически полным разделением железосодержащей и титансодержащей составляющих и получением титанистого шлака;

- разработаны основы новой технологии прямого восстановления металлов с получением синтез-газа;

- разработаны и апробированы в промышленных условиях оптимальные режимы ресурсосберегающей технологии прямого легирования стали никелем в дуговых электропечах с использованием никелевого концентрата;

- разработаны и внедрены в производство технология и оптимальные режимы внепечной обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком в ковше на выпуске металла и в агрегате «ковш-печь» с использованием коксика и ферросилиция.

Результаты исследования и оптимизации вариантов ресурсосберегающих металлургических технологий использованы:

- на опытной установке агрегата струйно-эмульсионного типа, созданной в кислородно-конвертерном цехе № 2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»;
- при получении марганцевых сплавов на ООО УК «СГМК»; при производстве легированной никелем стали в дуговых электропечах на ОАО «Сталь НК»;
- при внепечной обработке стали конвертерным ванадиевым шлаком в электросталеплавильном цехе АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Инструментальная система «Инжиниринг-Металлургия» использована при разработке новых и совершенствовании существующих металлургических технологий и в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров.

Также работа представляет интерес для научных организаций страны: ФГАОУ ВО «УРФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники», ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС») ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина» и др.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Достоверность результатов исследования обусловлена логичностью постановки задач и использованием современных методов исследований: термодинамического и математического моделирования; синергетики и неравновес-

ной термодинамики, оптимизации, а также химического, рентгенофазового и спектрального анализа для определения химического и фазового состава исходных и полученных материалов при экспериментальных исследованиях.

Обоснованность выдвигаемых в работе научных положений и выводов подтверждается корректной сопоставимостью результатов теоретических разработок, экспериментальных исследований и практической реализации.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и приложений. Изложена на 327 страницах, содержит 88 рисунков, 59 таблиц, список литературы из 357 наименований, 6 приложений.

Диссертация имеет внутреннее единство и свидетельствует о высоком профессиональном уровне автора. Выводы и рекомендации, сформулированные по каждой главе и в диссертации в целом, обоснованы и аргументированы.

Во введении показана актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов, отмечен личный вклад автора, указаны структура и объем диссертации.

В первой главе приведен литературный обзор, где представлен анализ литературных данных по разработке современных ресурсосберегающих технологий прямого получения металлов, использованию существующих подходов к их моделированию, методик расчета энергетических балансов, методов и инструментальных систем термодинамического моделирования и способов решения оптимизационных задач.

Вторая глава посвящена разработке метода определения оптимальных условий протекания процессов в термодинамических системах и оптимальных режимов металлургических технологий прямого восстановления металлов путем решения комплекса взаимосвязанных задач в результате реализации двухконтурной оптимизации с использованием созданных методик исследований, математических моделей, инструментальных средств.

В третьей главе представлены результаты исследований по определению оптимальных условий реализации восстановительных процессов в модельных системах, полученные с использованием методов и средств термодинамического моделирования.

В четвертой главе рассмотрены основы, принципы создания и математическая модель нового непрерывного металлургического процесса струйно-эмульсионного типа.

В пятой главе представлены результаты моделирования, оптимизации и практической реализации ряда технологий в агрегате струйно-эмульсионного типа: получения металла из чугуна и окалины; прямого восстановления металла из пылевидных железосодержащих материалов; получения марганцевых сплавов; переработки титано-магнетитовых концентратов; прямого восстановления железа с попутным получением высококалорийного синтез-газа.

В шестой главе показано применение метода и инструментальных средств для определения оптимальных режимов технологий легирования стали

с использованием никелевого концентрата и конвертерного ванадиевого шлака.

В заключении изложены итоги выполненного исследования.

В приложении приведены акты и справки о практическом использовании и внедрении результатов работы, свидетельство о регистрации программы «Инжиниринг-Металлургия» и пример расчета в этой программе технологических режимов процесса переработки марганцевой руды.

Таким образом, диссертация является завершенной работой, основные научные положения, выводы, предложения и рекомендации которой достаточно логичны и аргументированы. Работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ и по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует паспорту специальности 05.16.02. – Metallургия черных, цветных и редких металлов по следующим пунктам: п. 4 «Термодинамика и кинетика металлургических процессов», п. 5 «Металлургические системы и коллективное поведение в них различных элементов», п. 17 «Материало- и энергосбережение при получении металлов и сплавов», п. 20 «Математические модели процессов производства черных, цветных и редких металлов».

Однако по диссертационному исследованию имеются следующие замечания и предложения:

1. Большой раздел диссертационной работы посвящен агрегату струйно-эмульсионного типа, опытный образец которого, построен на АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Этот агрегат проработал ограниченное время и в настоящее время не используется. Следует пояснить какова перспектива реализации данного проекта.

2. Использование принципа максимума энтропии при анализе термодинамики протекания физико-химических процессов весьма ограничено. Правомерность такого подхода в диссертационной работе подтверждается только косвенно. Из материалов диссертации непонятно в чем преимущество такого подхода.

3. Термодинамические характеристики процессов горения природного и твердого углерода топлива изучены достаточно подробно. Тем не менее, в диссертации рассматриваются данные процессы. В чем заключается новизна полученных результатов.

4. Предложенный в диссертации состав никелевого концентрата не соответствует реальным составам по содержанию никеля.

5. Из работы непонятно, откуда взяты исходные данные для расчета удельных энергоемкостей исходных материалов (стр. 93).

5. Из рисунков 6.5 и 6.6 видно, что при содержании углерода в металле на выпуске 0,5 и 0,7 % экстремум по содержанию ванадия и марганца находится правее за пределами диапазона изменения расхода конвертерного ванадиевого шлака, автору следовало провести исследования при более высоком расходе конвертерного ванадиевого шлака.

6. Расчетные значения коэффициента извлечения ванадия, полученные по результатам экспериментальных плавок на лабораторной печи, близки к 1, что отличается от результатов термодинамического моделирования (стр. 268, табл. 6.9).

Перечисленные недостатки и замечания не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на основные выводы и результаты.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат полно и точно отражает содержание диссертации, содержит в достаточном объеме иллюстративный материал и необходимые пояснения. Текст автореферата написан с учетом требований ГОСТ и ВАК РФ.

Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Результаты диссертации опубликованы в 111 печатных работах, в том числе в 17 научных журналах из списка ВАК, в 12 изданиях, индексируемых базами Scopus и Web of Science, а также в 4 монографиях, доложены на 50 конференциях, семинарах, совещаниях и конгрессах. Имеется 1 патент Российской Федерации и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

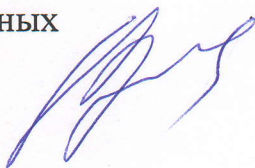
Таким образом, диссертация Рыбенко Инны Анатольевны является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема системного подхода к моделированию и оптимизации металлургических процессов путем создания метода и инструментальных средств, имеющая важное хозяйственное значение, а также изложены новые научно обоснованные технологические решения реализации процессов прямого восстановления металла в агрегате струйно-эмульсионного типа и прямого легирования металла с использованием оксидных материалов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Диссертационная работа заслушана и обсуждена на расширенном научном семинаре кафедры металлургии железа и сплавов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (протокол № 6 от 05.04.2018 г.).

Отзыв подготовил:

Заведующий кафедрой металлургии
железа и сплавов ФГАОУ ВО
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
доктор технических наук, профессор

(научная специальность
05.16.02 Metallургия черных, цветных
и редких металлов)
Александрович



Загайнов Сергей

Подпись заведующего кафедрой металлургии железа и сплавов д.т.н., профессора Загайнова С.А. удостоверяю:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)». Институт новых материалов и технологий

Адрес: 620002 г. Екатеринбург, ул. Мира, 28.

Тел.: +7 (343) 374-53-35

+7 (343) 374-44-39

E-mail: inmt@urfu.ru

Официальный сайт: <https://inmt.urfu.ru/>

Дата подписания отзыва « 3 » 12 2018 г.

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

Загайнова С. А.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УрФУ
ОЗЕРЕЦ Н.Н.

