

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертацию
Рыбенко Инны Анатольевны
на тему: 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

1. Актуальность избранной темы

Многозвенная технологическая схема традиционной металлургии отличается высокой ресурсо- и энергозатратностью. Одним из возможных направлений снижения энергоемкости металлургической продукции является совершенствование существующих и разработка новых технологий прямого восстановления металлов. Перспективным направлением в плане совершенствования существующих технологий является легирование стали с использованием оксидных материалов. В плане проектирования новых технологий прямого получения металлов наиболее эффективными являются процессы в струйно-эмульсионных системах, для которых характерны большие поверхности взаимодействия фаз и высокие скорости физико-химических взаимодействий.

Автор диссертации Рыбенко Инна Анатольевна является представителем известной сибирской научной школы, возглавляемой заслуженным деятелем науки РФ, профессором В.П. Цымбалом, коллективом которой совместно со специалистами Западно-Сибирского металлургического комбината удалось создать и довести до уровня крупномасштабной опытной установки новый струйно-эмульсионный металлургический процесс (СЭР).

Разработка новых технологий на этой установке, естественно, оказалась бы невозможной без создания комплекса математических моделей, методов исследования и оптимизации и инструментальных систем, которые позволили автору диссертации решить целый ряд интересных и важных задач: разработать несколько малоэнергоемких технологий прямого восстановления для струйно-эмульсионного процесса и агрегата СЭР, а также технологий прямого легирования путем восстановления легирующих элементов непосредственно из оксидов.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В представленной диссертации на основе классификации и подробного анализа большого количества схем прямого восстановления, находящихся на разных стадиях завершения, показано, что они, по существу, также как и традиционная схема, не являются прямыми (особенно это касается твердофазных процессов), так как требуют предварительного окомкования шихтовых материалов. С точки зрения снижения затрат энергии предпочтительны процессы в кипящем слое и жидкофазные процессы, где сохраняется большая межфазная поверхность реагирующих веществ и устраняются промежуточные стадии.

В рассматриваемом в диссертационной работе струйно-эмульсионном процессе, благодаря высокой степени дисперсности двухфазной рабочей смеси, создается очень большая межфазная поверхность. Автором работы убедительно показано, в том числе в экспериментах на крупномасштабной опытной установке, что при этом получается весьма совершенная смесь реагирующих веществ, и достаточно обоснованно выполняются допущения термодинамики, что позволяет применять для математического описания процессов аппарат термодинамических потенциалов. В связи с очень малыми размерами частиц и высокой скоростью реакций, переходными процессами массо- и теплопереноса можно пренебречь и рассматривать создаваемую в агрегате СЭР рабочую смесь как процесс текущего равновесия, в котором, в соответствии с известной теоремой И. Пригожина, выполняется принцип минимума производства энтропии.

С учетом отмеченного выше автором диссертации создан метод, комплекс математических моделей и инструментальная система, позволяющие определять оптимальные условия протекания процессов восстановления металлов в сложных термодинамических системах, оптимальные режимы ресурсосберегающих металлургических технологий прямого получения металлов в агрегате СЭР, а также легирования стали с использованием оксидных материалов.

Экспериментами на опытной установке подтверждена адекватность результатов, полученных с использованием разработанной на этой основе инструментальной системы моделирования, а также принципиальная реализуемость нескольких новых технологий, рассчитанных с помощью этой системы.

С учетом отмеченного выше, сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации следует считать достаточно обоснованными.

3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Следует отметить, что поставленная автором диссертации целевая задача, заключающаяся в повышении эффективности существующих и разработке новых

ресурсосберегающих металлургических технологий, успешно решена благодаря созданию методики и эффективного исследовательского инструмента: программно-инструментальной системы «Инжиниринг-металлургия».

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций обеспечивается корректным применением фундаментальных положений классической и неравновесной термодинамики, а также тем фактом, что в инструментальной системе используются известные и достаточно апробированные базы данных. Возможность системных исследований с помощью методики, комплекса прикладных программ и баз данных позволила резко повысить эффективность поисковых исследований и получить ряд интересных и новых результатов, среди которых следует отметить:

1. Метод системного решения комплекса взаимосвязанных задач по определению оптимальных условий протекания восстановительных процессов в термодинамических системах и оптимальных режимов ресурсосберегающих металлургических технологий прямого получения металлов в агрегате СЭР и легирования стали с использованием оксидных материалов.

2. Методику термодинамического моделирования и показатели, отражающие окислительно-восстановительный потенциал не только расплава, но и объемлющей системы, в том числе газовой фазы рабочего пространства металлургического агрегата.

3. Получение новых количественных данных и оптимальных соотношений компонентов для модельных термодинамических систем, обеспечивающих необходимый температурный режим и максимальную степень восстановления металлов.

4. Разработку оптимальных режимов новых малоэнергоемких технологий в агрегате струйно-эмульсионного типа: прямого восстановления металла из пылевидных железосодержащих материалов; получения марганцевых сплавов, в том числе из бедных пылевидных концентратов; переработки титаномагнетитовых концентратов с разделением на металл и кондиционный титанистый шлак.

5. Разработку практически бездымной технологии прямого восстановления железа с попутным получением высококалорийного синтез-газа.

Достоверность полученных результатов по разработке новых технологий в агрегате СЭР подтверждена экспериментами на крупномасштабной опытной установке, а результатов прямого легирования с использованием оксидных материалов — лабораторными экспериментами и апробированием в промышленных условиях, что подтверждено справками и актами о внедрении.

Основные результаты работы доложены на 50 всероссийских и международных конференциях, семинарах, совещаниях и конгрессах.

4. Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Полученные в диссертации результаты имеют важное научное и практическое значение для разработки новых ресурсосберегающих металлургических технологий. Наиболее значимыми из них являются:

1. Создание инструментальной среды «Инжиниринг-Металлургия», представляющей собой взаимосвязанную систему математических моделей, методов оптимизации и баз данных, которая позволяет решать широкий круг оптимизационных задач для ряда металлургических технологий.

2. Разработка и апробация на серии плавок в крупномасштабной опытной установке агрегата струйно-эмульсионного типа оптимальных режимов новых ресурсосберегающих технологий.

3. Разработка основ новой экологически замкнутой технологии прямого восстановления металлов с получением синтез-газа (Патент № 2371482 «Способ прямого восстановления металлов с получением синтез-газа и агрегат для его осуществления»).

4. Разработка и апробация в промышленных условиях оптимальных режимов ресурсосберегающей технологии прямого легирования стали никелем в дуговых электропечах с использованием никелевого концентрата и внепечной обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком в ковше на выпуске металла и в агрегате «ковш-печь».

5. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

В связи с тем, что в настоящее время нет достаточно эффективных технологий переработки пылевидных руд и отходов (большинство известных технологий включают стадию агломерации), результаты диссертационной работы должны сыграть важную роль при проектировании новых технологий прямого восстановления прежде всего накопленных пылевидных отходов (шламов газоочисток, замасленной окалины, пылевидных отходов обогащения угля). Малый удельный объем и компактность агрегата позволяют выполнить его в мобильном и даже энергонезависимом исполнении (с учетом имеющегося патента), и, следовательно, размещать вблизи мест образования отходов. Это открывает возможности для развития нового направления малоэнергоемкой мини-металлургии.

Уровень разработок позволяет поставить задачу проектирования пилотного образца агрегата СЭР промышленного исполнения.

6. Оценка содержания диссертации, ее завершенности

Диссертационная работа изложена логично понятно, четко и грамотно. Последовательность изложения материала создает целостное представление о

содержании диссертации и ее завершенности. Работа состоит из шести глав, по всем главам и по работе в целом приведены соответствующие выводы, отражающие полученные научные и практические результаты, которые можно сгруппировать в четыре направления:

- разработка методов и средств моделирования и оптимизации;
- модельные исследования в термодинамических системах;
- исследование и оптимизация технологий прямого получения металла в струйно-эмульсионном агрегате СЭР;
- исследование и оптимизация технологий легирования стали с использованием оксидных материалов.

Материал достаточно иллюстрирован, стиль изложения в целом хороший. Структурную целостность диссертации удачно иллюстрирует приведенная на рисунке 6.11 (страница 274) схема, показывающая взаимосвязь задач, подходов и полученных результатов.

Текст диссертации изложен на 327 страницах, содержит 88 рисунков, 59 таблиц, список литературы из 357 наименований, 6 приложений.

По материалам диссертации опубликовано 111 печатных работ, в том числе 17 – в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов кандидатских и докторских диссертаций, и 12 – в изданиях, индексируемых базами Scopus и Web of Science, а также 4 монографии, 1 патент Российской Федерации и свидетельство о регистрации программы для ЭМВ.

Содержание диссертации в целом соответствует содержанию работ, опубликованных по тематике диссертации. На чужие материалы, использованные в диссертации, имеются ссылки.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

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».

7. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, мнение о научной работе соискателя в целом

Достоинством диссертации является создание эффективного исследовательского инструмента, благодаря которому автору диссертационной работы удалось охватить достаточно широкий круг задач и получить целый ряд интересных и важных теоретических и практических результатов, однако в работе

имеются недостатки, связанные с разной глубиной проработки некоторых вопросов.

Недостатки работы (замечания и вопросы):

1. В качестве достоинства усовершенствованного варианта инструментальной системы «Авто-Астра» указано, что она позволяет одновременно решать две задачи: определение равновесного состава и температурного состояния, соответствующего этому составу, но из текста диссертации непонятно, каким образом это достигается.

2. В примере расчета процесса восстановления усинской карбонатной марганцевой руды в инструментальной системе «Инжиниринг-Металлургия», приведенном в приложении Д (страница 323) было бы целесообразно привести пояснения, как работает двухуровневая оптимизация и как достигается конкретный комплекс условий, обеспечивающий экстремум.

3. В параграфе 5.32 (страницы 200-210) описаны нестандартные технологии переработки марганцевых руд с предварительным обжигом и восстановлением. Но каким образом реально (не только в расчетном, но и в физическом смысле) в непрерывно функционирующем процессе предполагается обеспечить синхронизацию потоков шихты и газов в двух агрегатах, имея в виду, что существует запаздывание в получении полупродукта и его доставке в первый (основной) агрегат.

4. Не совсем понятно на странице 212, зачем в экспериментах по переработке титаномагнетитовых концентратов ильменитовый концентрат разубоживался до содержания TiO_2 порядка $18 \div 20 \%$ и как учитывалось изменение содержания TiO_2 за счет смыва футеровки опытного агрегата.

5. В диссертации не отражена должным образом связь между результатами исследований в главе 3 и в главе 6 и как эти результаты связаны с двухуровневой методикой.

6. В диссертации отмечено, что адекватность математических моделей проверена путём сопоставления расчётных данных с результатами лабораторных и промышленных испытаний, однако следует пояснить, каким образом осуществлена адаптация математических моделей к реальному процессу.

7. Поведение ванадия в процессах прямого получения железа недостаточно изучено, в отличие от доменного и конвертерного процессов. Каким образом определялись коэффициенты распределения ванадия между металлом и шлаком?

8. Не указаны размерности величин в формулах (4.3) – (4.5) на стр. 175.

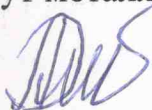
В целом диссертация представляет собой серьёзный многолетний труд, производит впечатление структурной логичности и завершенности и вносит свежую струю в металлургическую науку.

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

Таким образом, диссертация Рыбенко Инны Анатольевны «Развитие теоретических основ и разработка ресурсосберегающих технологий прямого восстановления металлов с использованием метода и инструментальной системы моделирования и оптимизации» является научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема по созданию метода системного решения комплекса взаимосвязанных оптимизационных задач по определению наилучших условий реализации металлургических процессов прямого восстановления, имеющая важное хозяйственное значение, а также изложены новые научно обоснованные технологические решения по совершенствованию существующих и разработке новых ресурсосберегающих металлургических технологий, 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.

Я, Дмитриев Андрей Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Рыбенко Инны Анатольевны, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
главный научный
сотрудник лаборатории пирометаллургии
черных металлов ФГБУН «Институт металлургии
Уральского отделения
Российской академии наук»



Дмитриев Андрей Николаевич

Научная специальность
05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов

Рабочий адрес: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 101
Тел.: (343) 267-89-08,
E-mail: andrey.dmitriev@mail.ru

Подпись Дмитриева А.Н. удостоверяю:
ученый секретарь ФГБУН
Института металлургии
Уральского отделения РАН, к.х.н.



08 ноября 2018 г.

В.И. Пономарев