

Протокол № 136 от 27 октября 2016 г.

заседания диссертационного совета Д 212.132.02

На заседании из 25 членов совета присутствуют 18: д.т.н. Белов В.Д. (председатель совета, 05.16.04), д.т.н. Семин А.Е. (заместитель председателя, 05.16.07); к.т.н. Колтыгин А.В. (ученый секретарь, 05.16.04); д.т.н. Белов Н.А. (05.16.04); д.т.н. Бородин Д.И. (05.16.07); д.т.н. Григорович К.В. (05.16.02); д.т.н. Деев В.Б. (05.16.04); д.т.н. Дуб В.С. (05.16.02); д.т.н. Карабасов Ю.С. (05.16.07); д.т.н. Косырев К.Л. (05.16.02); д.т.н. Павлов А.В. (05.16.02); д.т.н. Пашков И.Н. (05.16.04); д.физ.-мат.н. Петелин А.Л. (05.16.02); д.т.н. Сборщиков Г.С. (05.16.02); д.т.н. Симонян Л.М. (05.16.07); д.т.н. Тен Э.Б. (05.16.04); д.т.н. Филонов М.Р. (05.16.02); д.т.н. Шульц Л.А. (05.16.07),
в том числе по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов» – 7 членов совета. Кворум имеется.

На повестке дня защита диссертации **Кожухова Алексея Александровича** на тему: «Развитие научных основ вспенивания сталеплавильных шлаков с целью повышения энерготехнологических показателей производства стали в дуговых сталеплавильных печах», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов». Работа выполнена на кафедре на кафедре «Металлургия стали и ферросплавов» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» и на кафедре «Металлургия и металловедение им. С.П. Угаровой» Старооскольского технологического института (филиала) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Официальные оппоненты:

- Рощин Василий Ефимович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Металлургия и литейное производство» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет);
- Смирнов Николай Александрович – доктор технических наук, профессор, пенсионер;

— Дурьинин Виктор Алексеевич - доктор технических наук, первый заместитель генерального директора ООО «ОМЗ-Спецсталь» (отсутствует).

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Представленные соискателем документы соответствуют установленным требованиям Положения ВАК.

1. Слушали:

- доклад **Кожухова Алексея Александровича** об основных положениях диссертации;
- вопросы соискателю и его ответы;
- заключение организации, где выполнена диссертационная работа, отзыв ведущей организации, а также отзывы на диссертацию и автореферат, поступившие в диссертационный совет;
- ответы соискателя на замечания, содержащиеся в отзывах;
- выступление официальных оппонентов;
- ответы соискателя на замечания оппонентов;
- выступления членов совета в общей дискуссии по рассматриваемой работе: главный научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова» Российской академии наук, д.т.н. З.Г. Салихов, д.т.н. Дуб В.С., д.т.н. Семин А.Е., д.т.н. Сборщиков Г.С., профессор кафедры «Экономика и управление в промышленности» ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» Богданов С.В.
- заключительное слово соискателя.

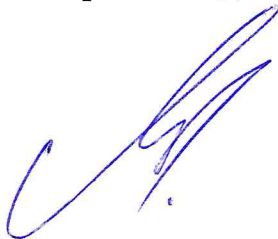
2. Для проведения тайного голосования избрана счетная комиссия в составе: председатель – д.т.н. Павлов А.В., члены комиссии д.т.н. Белов Н.А., д.т.н. Деев В.Б.

В тайном голосовании приняли участие 17 членов совета, так как Колтыгин А.В. – к.т.н. Проголосовали – за 17, против – 0, недействительных – 0.

На основании результатов тайного голосования членов совета **Кожухову Алексею Александровичу** присуждена ученая степень доктора технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

3. Рассмотрение и принятие открытым голосованием заключения диссертационного совета по диссертации совета **Кожухова Алексея Александровича**. Заключение совета принято единогласно.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.В. Колтыгин

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.132.02
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.10.2016 г. № 136

О присуждении Кожухову Алексею Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Развитие научных основ вспенивания сталеплавильных шлаков с целью повышения энерготехнологических показателей производства стали в дуговых сталеплавильных печах» по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов» принята к защите 26.05.2016 г., протокол № 128 диссертационным советом Д 212.132.02 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (адрес 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, Приказ Минобрнауки № 717/нк от 09.11.2012 г.)

Соискатель Кожухов Алексей Александрович 1976 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Исследование процессов пылеосаждения над зоной продувки и оптимизация дутьевого режима конвертерной плавки» защитил в 2001 году, в диссертационном совете, созданном на базе Московского государственного института стали и сплавов (Технологическом университете).

С июня 2012 года работает в должности заведующего кафедрой «Металлургия и металловедение им. С.П. Угаровой» Старооскольского технологического института им. А. А. Угарова (филиала) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Диссертация выполнена на кафедре «Металлургия стали и ферросплавов» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» и на кафедре «Металлургия и металловедение им. С.П. Угаровой» Старооскольского технологического института (филиала) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Министерство образования и науки РФ.

Официальные оппоненты:

1. Рощин Василий Ефимович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Металлургия и литейное производство» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»;

2. Смирнов Николай Александрович – доктор технических наук, профессор, пенсионер;

3. Дурынин Виктор Алексеевич - доктор технических наук, первый заместитель генерального директора ООО «ОМЗ-Спецсталь»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (г. Магнитогорск, Челябинская обл.) в своем положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой «Технологии металлургии и литейное производство», профессором, доктором технических наук Константином Николаевичем Вдовиным, и утвержденном первым проректором, проректором по научной и инновационной работе, профессором, доктором технических наук Михаилом Витальевичем Чукиным, указала, что диссертационная работа Кожухова А.А. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором ис-

следований изложены научно обоснованные технологические решения по выплавке стали в дуговых печах, заключающиеся в использовании металлизированных окатышей для вспенивания шлака и получения устойчивой шлаковой пены, изолирующей электрическую дугу от свободного пространства печи. Эти решения сокращают длительность плавки, снижают расход электроэнергии и уменьшают выделение пыли, что имеет существенное значение для металлургической промышленности страны.

Диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Кожухов Алексей Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Соискатель имеет 120 опубликованных работ, в том числе 62 работы по теме диссертации, из них опубликованы в рецензируемых научных изданиях перечня ВАК РФ 30 работ, 1 монография, 2 патента. Работы по теме диссертации, опубликованные в рецензируемых научных изданиях ВАК:

1. Кожухов А. А. Исследование поведения конвертерной ванны с применением газодинамической пылеочистки над зоной продувки в конвертере / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер, Г. А. Карпенко // Известия Вузов. Чёрная металлургия. – 2000 г. – № 9. – С. 16-19.
2. Кожухов А. А. Моделирование газодинамической пылеочистки над зоной продувки в конвертере / Э. Э. Меркер, А. А. Кожухов // Известия Вузов. Чёрная металлургия. – 2000 г. – № 11. – С. 52-55.
3. Кожухов А. А. Модель газодинамической пылеочистки для кислородно-конвертерного процесса / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер // Известия Вузов. Чёрная металлургия. – 2001 г. – № 1. – С. 50-52.
4. Кожухов А. А. Исследование эффективности продувки конвертерной ванны двухъярусным потоком кислорода методом математического моделирования / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер // Известия Вузов. Чёрная металлургия. – 2001 г. – № 7. – С. 17–20.
5. Кожухов А. А. Исследование аэродинамических характеристик системы

- встречных газовых потоков над зоной продувки в конвертере / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер // Известия Вузов. Чёрная металлургия. – 2002 г. – № 1. – С. 1-14.
6. Кожухов А. А. Меркер Э. Э. Исследование процессов пылеосаждения технологической пыли в шлаке при продувке металла кислородом / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер // Известия Вузов. Чёрная металлургия. – 2002 г. – № 2. – С. 74.
 7. Кожухов А.А. Экологически чистая технология конвертерной плавки стали на основе применения газодинамической защиты в агрегате / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер // Известия Южного федерального университета. – 2002 г. – Т. 29. – № 6. – С. 159-160.
 8. Кожухов А. А. Исследование переходной зоны шлак-металл в ванне дуговой печи на холодной модели / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер, В. В. Федина // Известия Вузов. Чёрная металлургия. – 2005 г. – № 1. – С. 24-26.
 9. Кожухов А. А. Исследование эффективности режима дожигания оксида углерода в конвертере / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер, Г. А. Карпенко // Известия Вузов. Чёрная металлургия. – 2005 г. – № 5. – С. 20-23.
 10. Кожухов А.А. Теплофизика дожигания оксида углерода над зоной продувки в конвертере / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер, Г. А. Карпенко // Фундаментальные исследования. – 2005 г. – № 2. – С. 46-47.
 11. Кожухов А.А. Математическая модель газоструйной пылеочистки в конвертере / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер // Современные наукоемкие технологии. – 2005 г. – № 1. – С. 24.
 12. Кожухов А. А. Исследование нагрева и плавления окатышей в зоне горения электрической дуги / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер, А. В. Сазонов // Известия Вузов. Чёрная металлургия. – 2008 г. – № 7. – С. 13-15.
 13. Кожухов А. А. Изучение режима нагрева металлошихты электрической дугой в печи с применением электродов различной конструкции / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер, А. В. Сазонов // Вестник ЧерГУ. – 2008 г. – № 3. – С. 35-39.

14. Кожухов А. А. Анализ теплообмена в дуговой печи при плавке металлизированных окатышей / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер, А. В. Сазонов // Известия Вузов. Чёрная металлургия». – 2010 г. – № 5. – С. 37-40.
15. Кожухов А. А. Исследование эффективности утилизации технологической пыли в слое вспененного шлака кислородного конвертера / А. А. Кожухов // Металлург. – 2010 г. – № 9. – С. 38-40.
16. Кожухов А. А. Моделирование газоструйной пылеочистки над зоной продувки кислородного конвертера / А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер, А. А. Шевченко // Металлург. – 2010 г. – № 9. – С. 41-44.
17. Кожухов А. А. Способы утилизации технологической пыли в слое вспененного шлака кислородного конвертера /А.А. Кожухов //Сталь. – 2011 г. – № 12. –С. 71-75.
18. Кожухов А. А. Исследование процесса вспенивания сталеплавильного шлака и его влияния на тепловую работу дуговой сталеплавильной печи / А. А. Кожухов, В. В. Федина, Э. Э. Меркер // Металлург. – 2012 г. – № 3. – С. 42-44.
19. Кожухов А. А. Разработка системы управления температурным режимом дуговой сталеплавильной печи, работающей с непрерывной загрузкой металлизированных окатышей и вспениванием печного шлака /А. А. Кожухов, А. С. Ткачев, И. В. Рябинин // Металлург. – 2012 г. – № 1. – С. 34-38.
20. Меркер Э. Э. Анализ эффективности применения газоструйной системы для дожигания газов и пылеосаждения в конверторном процессе / Э. Э. Меркер, А. А. Кожухов, Л. Н. Королькова, Г. А. Карпенко // Международный журнал экспериментального образования. – 2012 г. – № 4. – С. 97.
21. Кожухов А. А. Исследование роли металлизированных окатышей при вспенивании сталеплавильного шлака в современных дуговых сталеплавильных печах / А. А. Кожухов // Электromеталлургия. – 2012 г. – № 11. – С. 11-15.
22. Ткачев А. С. Исследование облученности стен дуговой сталеплавильной печи с применением электродов различной конструкции / А.С. Ткачев, А. А. Кожухов, Э.Э. Меркер // Известия ВУЗов. Черная Металлургия. – 2012 г. –

№ 9. – С. 10-12.

23. Кожухов А. А. Оценка изменения уровня вспенивания сталеплавильного шлака в кислородном конвертере с точки зрения теории протекания и фрактальной геометрии / А. А. Кожухов // *Металлург.* – 2013 г. – № 1. – С. 46-51.
24. Ткачев А. С. Исследование энергетических режимов работы современных дуговых сталеплавильных печей при использовании различных типов электродов / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, Э. Э. Меркер, И.В. Рябинин // *Известия ВУЗов. Черная Metallургия.* – 2013 г. – № 1. – С. 6-9.
25. Ткачев А. С. Оценка эффективности тепловой работы водоохлаждаемых элементов дуговой сталеплавильной печи при работе на электродах различной конструкции / А. С. Ткачев, А.А. Кожухов, Э. Э. Меркер // *Известия ВУЗов. Черная Metallургия.* – 2013 г. – № 1. – С. 10-12.
26. Кожухов А. А. Влияние химического состава шлака на его способность вспениваться по ходу продувки ванны в кислородном конвертере / А. А. Кожухов // *Сталь.* – 2013 г. – № 4. – С. 20-22.
27. Кожухов А.А. Исследование влияния вязкости и температуры плавления конвертерного шлака на его вспенивание / А. А. Кожухов // *Сталь.* – 2014 г. – № 2. – С. 15-19.
28. Кожухов А.А. Исследование влияния химического состава шлака на его способность вспениваться в дуговой сталеплавильной печи / А. А. Кожухов // *Электromеталлургия.* – 2014 г. – № 12. – С. 18-23.
29. Кожухов А. А. Экспериментальное изучение влияния полого (трубчатого) электрода на характеристики горения электрической дуги в дуговой сталеплавильной печи / А. А. Кожухов, А. С. Ткачев, Е. Н. Мельников // *Известия ВУЗов. Черная Metallургия.* – 2015 г. – № 3. – С. 207-209.
30. Кожухов А. А. Оценка коэффициента использования тепла электрических дуг при плавке под вспененным шлаком в современных ДСП / А. А. Кожухов // *Электromеталлургия.* – 2015 г. – № 6. – С. 3-9.

Монографии

1. Кожухов А. А. Энергосберегающие технологии выплавки стали на основе

вспенивания сталеплавильных шлаков: монография / А. А. Кожухов. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 357 с.

Патенты

1. Меркер Э. Э. Дуговая печь для выплавки стали с использованием металлизированных окатышей / Э. Э. Меркер, А. А. Кожухов, В. Б. Крахт, А. А. Гришин, А. В. Сазонов // Патент № 2374582 Бюллетень открытий и изобретений №33 от 27.11.2009 г.
2. Тимофеева А. С. Способ выплавки стали в электрических печах / А. С. Тимофеева, Т. В. Никитченко, А. А. Кожухов, Н.А. Киселева, Е.Н. Мельников // Патент № 2573847 Бюллетень открытий и изобретений №3 от 27.01.2016 г.

В работах изложены результаты исследований автора по вопросу вспенивания шлаков в различных сталеплавильных агрегатах, приведены результаты влияния вспененного шлака на энерготехнологические показатели выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах, математические методы описания процесса вспенивания шлака, результаты экспериментальных исследований. Авторский вклад соискателя при выполнении указанных публикаций состоял в постановке задач исследования, планировании и проведении лабораторных экспериментов, обработке и интерпретации полученных экспериментальных данных, формулировке выводов и разработке математических моделей вспенивания шлаков в дуговых сталеплавильных печах и теплового состояния ванны дуговой печи, подготовке текстов публикаций.

На диссертацию и автореферат поступило 13 отзывов. Все отзывы положительные и содержат следующие замечания:

1. Отзыв начальника сталеплавильного бюро сталеплавильной лаборатории АО «Оскольский электрометаллургический комбинат», к.т.н А.А. Бондарчука содержит следующее замечание:

1.1 Не совсем понятно как осуществлялось выполнение условий подобия физической модели и реального процесса.

2. Отзыв профессора кафедры «Металлургия черных металлов» ГОУ ВПО Луганской народной республики «Донбасский государственный технический университет», к.т.н., профессора С.В. Куберского содержит следующее замечание:

2.1 Не совсем понятно, каким образом работает представленный алгоритм расчета параметров энерготехнологического режима при выплавке стали в дуговой сталеплавильной печи. Автору следовало бы, более подробно описать предложенный им алгоритм.

3. Отзыв главного специалиста отдела планирования и технической экспертизы проектов модернизации производства Департамента горнорудного производства ООО УК «Металлоинвест», к.т.н. Т.В. Никитченко содержит следующее замечание:

3.1 Не совсем точно обоснована возможность применения положений теории пенообразования в химической промышленности к вспениванию сталеплавильных шлаков.

4. Отзыв профессора кафедры «Энергетика теплотехнологии» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», д.т.н., доцента П.А. Трубаева содержит следующие замечания:

4.1 На с. 14-15 приводится показатель K , вместе тем расшифровки этого условного обозначения нет.

4.2 На с. 30 реферата приводится величина экономии расхода электроэнергии на 1% или 4,62 кВт·ч без объяснения, каким образом эта величина получена из теплового баланса (табл. 4) и за счет каких статей баланса произведена экономия.

4.3 Непонятна логическая структура алгоритма, приведенного на рис. 12, например по какому условию производится выбор направления после блоков «1. Увеличение силы тока и 1. Гетерогенизация шлака».

5. Отзыв заведующего кафедрой «Технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», д.т.н., старшего научного сотрудника А.Ю. Кема содержит следующие замечания:

5.1 На с.9, строки 3-8 сверху, в разделе «Вторая глава» автор указывает, что для приведения к подобию гидродинамических процессов, протекающих при вспенивании шлака на промышленной ДСП и экспериментальной установке, использовались критерии Архимеда и Вебера. При этом, при обосновании выбора критериев подобия, соискатель утверждает, что «Увеличение критерия Архимеда способствует росту уровня шлака, а увеличение критерия We – уменьшению уровня шлака». Вряд ли эти критерии напрямую оказывают влияние на высоту шлака, их назначение – приведение к подобию процессов, протекающих в промышленной и экспериментальных установках.

5.2 На с. 19 (последний абзац) и 20 (первый абзац) в разделе «В третьей главе», автор указывает «За основу взята модель, дисперсная среда в которой характеризуется тремя четко разделяющимися элементами, а именно пленками ..., каналами, узлами». При этом в автореферате нет данных о том, что же такое с точки зрения агрегатного/фазового/химического состава эти самые пленки, каналы и узлы. Как они (пленки, каналы и узлы) соотносятся с количеством фаз в системе «Вспененный шлак»? Более того, здесь же автор утверждает, что «Если пренебречь объемом шлака в узлах и его течение по пленкам (?), тогда вспененный шлак будет представлять собой систему каналов, имеющих поперечное сечение в форме треугольника». На мой взгляд, положение о «треугольнике» ничем не подтверждено. По-видимому, речь идет о выбранной автором модели структуры, соотносящейся со структурой дерева Кейли.

5.3 В автореферате имеются неудачные выражения. Так, например, на с. 9 автореферата в разделе «Вторая глава», строки 14-17 снизу, указано «При увеличении приведенного расхода газа происходит ... образование газовых «колоколов» и переход к «снарядному» режиму барботирования. Скорее к взрывному, неконтролируемому. При этом из этого текста следует, что именно образование «колоколов» вызывает взрывное/неконтролируемое барботирование. Но так ли это?

5.4 Снижающим восприятие представленных в автореферате данных является, по моему мнению, использование несогласованных единиц измерений

(стр. 9). Так, например, расход воздуха дан в (л/ч), а приведенный расход газа в (м³/м²·мин).

6. Отзыв заведующего кафедрой «Металлургические технологии и оборудование» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», д.т.н., профессора И.О. Леушина содержит следующие замечания:

6.1 Материалы, представленные в автореферате не позволяют в полной мере оценить заявленное «развитие научных основ вспенивания» в сравнении с другими известными решениями.

6.2 Текст автореферата не соответствует требованиям п.9.2.1 ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». В частности, в общей характеристике работы отсутствуют такие структурные элементы, как степень разработанности темы исследования; теоретическая значимость работы; методология и методы исследования; положения, выносимые на защиту, на наш взгляд, необходимые для получения полного представления о диссертации. В этой связи остается вопрос в том, насколько четко соискателем выполняется п. 24.1 «Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», введенный Приказом Минобрнауки России от 09.12.2014 № 1560.

6.3 В автореферате отсутствует какая-либо информация о фактически полученном или хотя бы ожидаемом экономическом эффекте от внедрения разработок, который свидетельствовал бы о повышении энерготехнологических показателей производства стали в дуговых сталеплавильных печах, заявленном в теме диссертации. К сожалению, нет и конкретных рекомендаций по использованию полученных научных выводов, обязательных для диссертации, имеющей теоретический характер.

6.4 Выводы по диссертации, изложенные на стр. 35-37 автореферата, выглядят излишне детализированными и необоснованно многочисленными, в большей степени соответствующими кандидатской, а не докторской диссертации.

6.5 Не понятно, какое отношение к теме работы имеет целый ряд публикаций автора, заявленных в качестве «основных по теме диссертации». В частности, речь идет о пп. 1-7, 9-11, 15-17, 20, 26-27 на стр 37-39 автореферата, монографиях пп. 1-2 и патенте п.1 на стр. 40 автореферата, пп. 1-20 на стр. 40-42 автореферата. Ведь они касаются не электродуговой плавки, а конвертерного процесса.

7. Отзыв профессора кафедры «Прикладные информационные технологии и программирование» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», д.т.н., Заслуженного деятеля науки РФ В.П. Цымбала содержит следующие замечания:

7.1 Автор уделил большое внимание анализу парных зависимостей (рис.3), на наш взгляд, более обоснованно тесноту связей можно было бы описать в виде множественной корреляции или регрессии, поскольку как видно из рис. 3, эти зависимости имеют значительный разброс данных, что объясняется, прежде всего, одновременным влиянием других факторов. Например, криволинейная аппроксимация данных зависимости толщины вспененного шлака от содержания СаО в шлаке (рис. 3б) может быть подвергнута сомнению.

7.2 Подрисуночные подписи на рис. 2 вводят в заблуждение: на рисунке обозначено, что 1,2,3 – это режимы, а в подрисуночной подписи это зоны.

8. Отзыв заведующего кафедрой «Электроснабжение и электротехника» ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», д.т.н., профессора А.Н. Макарова содержит следующее замечание:

8.1 В табл. 3 стр. 28 автореферата указано, что при полном экранировании дуги шлаком можно получить коэффициент использования тепла дуги 0,99. В действительности вследствие электромагнитного выдувания даже при полном визуальном погружении в шлак и углублении в металле дуга выбрасывает шлак из углубления, частично открываясь и коэффициент использования тепла дуги снижается до $0,8 \div 0,85$. Выше значения 0,85 без устранения электромагнитного выдувания коэффициент использования тепла электрической дуги не достигим.

9. Отзыв профессора кафедры «Металлургия, машиностроение и технологическое оборудование» ФГБОУ ВО «Череповецкий Государственный университет», д.т.н., профессора, действительного члена Российской и Европейской Академии Естествознания З.К. Кабакова содержит следующие замечания:

9.1 Не приведены данные по достоверности использованных методик расчета и эксперимента в виде численных значений погрешностей. Например: погрешность методики измерения высоты шлака.

9.2 Учитывая, что температура шлака на площади металла неравномерна при работе электрических дуг, а высота вспенивания зависит от температуры шлака через вязкость, можно предположить, что высота вспенивания будет различна по площади металла. Так ли это и насколько это существенно?

9.3 На рис. 89 (стр. 22) приведены результаты расчета по формуле (9) в виде зависимости толщины шлака от приведенного расхода газа. Однако в формуле (9) на первый взгляд нет величины полной толщины шлака и расхода газа. Как же был выполнен расчет?

10. Отзыв главного научного сотрудника ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова» Российской академии наук, д.т.н. профессора З.Г. Салихова содержит следующее замечание:

10.1 При исследовании таких параметров как температура ликвидус и вязкость шлака, автор говорит о необходимости учета трехвалентного железа (Fe_2O_3). Однако из текста диссертации не ясна роль Fe_2O_3 в процессе вспенивания сталеплавильного шлака.

11. Отзыв ведущего научного сотрудника отдела магнитной гидродинамики Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины, д.т.н., профессора, Заслуженного деятеля наук и техники Украины А.Н. Смирнова содержит следующее замечание:

11.1 При исследовании процесса вспенивания сталеплавильного шлака автор прибегает к холодному моделированию. Однако при описании методики холодного моделирования, недостаточно полно описывается, каким образом осуществлялось подобие процессов на реальном агрегате и модели.

12. Отзыв старшего научного сотрудника ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова» Российской академии наук, д.т.н. А.И. Трайно содержит следующее замечание:

12.1 При исследовании влияния температуры ликвидус и вязкости на процесс вспенивания сталеплавильного шлака, автором использовалась полимерная модель. Однако не лишним было бы привести данные о том, что полученные с помощью этой модели данные о температуре ликвидус и вязкости шлаков будут правильными.

13. Отзыв генерального директора АО «НПО «ЦНИИТМАШ», д.т.н. В.В. Орлова содержит следующее замечание:

13.1 В главе 6 автор разрабатывает математическую модель распределения тепловых потоков в рабочем пространстве дуговой сталеплавильной печи. Итогом которой является расчет коэффициента использования тепла электрической дуги. Не совсем понятен физический смысл этого коэффициента.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известными научными работами в области производства стали в дуговых сталеплавильных печах, термодинамики и кинетики металлургических процессов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработаны новые научно обоснованные теоретические положения процесса вспенивания сталеплавильного шлака в дуговых сталеплавильных печах, в соответствии с которыми раскрыт механизм вспенивания и длительность пребывания шлака во вспененном состоянии, установлены новые технологические параметры, влияющие на вспенивание шлака, получены новые зависимости величины высоты вспененного шлака от его химического состава и физических свойств, температуры металла и шлака, а также от темпа подачи металлизированных окатышей, в том числе с учётом их физических и химических параметров, научно обоснована роль вспененного шлака в процессе

интенсификации плавки стали в дуговых электропечах.

Предложен новый механизм вспенивания сталеплавильного шлака в дуговых сталеплавильных печах, который научно обоснован результатами экспериментальных исследований и обобщает ранее сформулированные теоретические вопросы пенообразования в различных агрегатах и процессах.

Доказана и научно обоснована возможность применения **теории перколяции и фракталов** к описанию процессов вспенивания шлака в дуговой сталеплавильной печи, на основе которой разработана математическая модель, описывающая механизм разрушения вспененного шлака, учитывающая основные параметры, определяющие процесс вспенивания шлака (диаметр пузырьков, поверхностное натяжение шлака) и позволяющая рассчитать предельную высоту вспенивания шлака в зависимости от приведённого расхода вспенивающего газа. Доказана целесообразность обеспечения устойчивости процесса вспенивания шлака в дуговых сталеплавильных печах, как технологического приема, позволяющего повысить энерготехнологические показатели электроплавки и снижения экологической нагрузки на окружающую среду.

Введено новое научно обоснованное понятие **скорость образования вспененного шлака**, характеризующее величину приведенного расхода газа, обеспечивающего устойчивое протекание процесса вспенивания сталеплавильного шлака в дуговых печах.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказано, что ключевыми факторами, обеспечивающими устойчивый процесс вспенивания шлака в первую очередь являются объем образующегося вспенивающего газа и фактическая температура шлака, это научно обосновано результатами лабораторных и промышленных экспериментов, а также новыми теоретическими положениями.

Применительно к проблематике диссертации результативно использованы данные промышленных и лабораторных экспериментов, а также методы математического моделирования.

Изложено влияние различных факторов (химического состава шлака, температуры металла, температуры шлака, скорости обезуглероживания, объема образующегося газа, скорости загрузки металлизированных окатышей) на процесс вспенивания шлаков в дуговых сталеплавильных печах, которые получили новое научное обоснование.

Раскрыт и научно обоснован механизм вспенивания сталеплавильного шлака в дуговых сталеплавильных печах, в том числе при использовании металлизированных окатышей, непрерывно подаваемых в ванну, научно обоснована роль вспененного шлака в повышении энерготехнологических показателей электроплавки и улучшения тепловой работы дуговых сталеплавильных печей, а также впервые научно обоснован и сформулирован механизм осаждения технологической пыли в объеме вспененного шлака, согласно которому основными механизмами осаждения технологической пыли в слое вспененного шлака являются турбулентная поперечная миграция и турбулентная диффузия частиц, которая обеспечивает подпитку процесса частицами.

Изучено влияние процесса вспенивания сталеплавильного шлака в дуговых сталеплавильных печах на основные энерготехнологические показатели и улучшение экологических показателей электроплавки стали в дуговых печах с использованием металлизированных окатышей, как одной из металлосодержащей шихты, подаваемой в печь по ходу процесса.

Проведена модернизация предложенной математической модели для расчета энерготехнологических показателей процесса выплавки стали, обеспечивающая учет основных параметров теплового состояния ДСП в процессе непрерывной загрузки металлизированных окатышей в печь, включая контроль положения электрической дуги объеме вспененного шлака и влияния массы загружаемых металлизированных окатышей на уровень перегрева шлака и высоту вспенивания шлака, а также позволяющая осуществлять расчет энергосберегающего режима электроплавки стали.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Определена возможность обеспечения энергосберегающего режима электроплавки стали за счет постоянного экранирования высокотемпературной электрической дуги вспененным шлаком толщина и устойчивость которого, поддерживается рациональной степенью перегрева шлака путём изменения скорости подачи металлизированных окатышей в ванну дуговой сталеплавильной печи, что позволяет сократить длительность плавки под током на 1,5 минуты и снизить удельный расход электроэнергии на тонну стали в среднем на 0,5%, что составляет 2-3 кВт·ч/т (применительно только к АО «ОЭМК» это около 60 млн. руб.), что позволит в масштабах металлургической промышленности получить экономический эффект более 2 млрд. рублей.

Созданы новые математические модели, которые могут быть положены в основу способа управления процессом вспенивания шлака на основе теории фракталов и перколяции, позволяющие оценивать тепловое состояние ванны на принципе учета рациональной степени перегрева шлака, оптимальной скорости загрузки металлизированных окатышей, а также условия постоянного погружения электрических дуг в объем вспененного шлака. Предложены новые методики расчета процесса осаждения пыли в объёме вспененного шлака и оценки склонности шлаков к пенообразованию.

Представлены новые научно обоснованные технические и технологические решения по совершенствованию теплотехнических, энергетических и технологических параметров электроплавки с учетом факторов теплового состояния ванны, высоты вспенивания шлака, параметров загрузки металлизированных окатышей в печь, внедрение которых позволит значительно улучшить технико-экономические показатели и повысить эффективность работы дуговых печей. Предложен рациональный шлаковый режим дуговой сталеплавильной печи с учётом изменения температуры шлака по ходу процесса, позволяющий обеспечить поддержание процесса вспенивания шлака и его устойчивость по ходу и в конце плавки. Разработаны решения по интенсификации процесса осаждения пыли в объёме вспененного шлака, которые позволяют снизить брызгоунос и вынос технологической пыли из дуговой печи и повысить выход годной стали.

Представленные решения приняты к использованию на ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» и ОАО «Оскольский завод металлургического машиностроения» что подтверждено актами.

Оценка достоверности обусловлена:

для экспериментальных работ использованием современного сертифицированного оборудования, измерительных приборов, методов и методик исследования, при анализе результатов использовалось поверенное аналитическое оборудование.

Теория построена на современных представлениях о процессе вспенивания шлаков в различных сталеплавильных агрегатах сформулированных как российскими учёными (Шалимов А.Г., Корчагин К.А., Некрасов И.В. и др.), так и зарубежными (Fruehan R.J., Ameling D., Morales R.D., Райхель Ж., Розе Л.И. и др.) и общей теории пенообразования, относящейся к другим отраслям промышленности, а также на использовании современных программных средств моделирования. Результаты моделирования согласуются с известными данными о процессе вспенивания сталеплавильных шлаков.

Идея базируется на изучении механизма образования вспененного шлака, установлении взаимосвязи между процессами вспенивания шлака, интенсивности нагрева и обезуглероживания металла, обосновании применимости теории перколяции и фракталов для математического описания процесса вспенивания шлака, разработке энерготехнологических режимов работы дуговых сталеплавильных печей, в соответствии с которыми доказана положительная роль процесса вспенивания шлака на основные энерготехнологические и экологические показатели электроплавки стали.

Использованы сформулированные ранее положения процесса пенообразования в химической промышленности, в кислородных конвертерах и мартеновских печах, а именно влияние ключевых факторов (вязкость, поверхностное натяжение, температура, давление и др.) на развитие процесса пенообразования, были расширены и адаптированы автором к дуговой сталеплавильной печи (в частности, разработана новая методика оценки склонности сталеплавильного шлака к пенообразованию, позволяющая определить по физико-химическим свойствам шлака необходимую величину приведённого расхода газа (скорость

образования вспененного шлака), обеспечивающую эффективное вспенивание шлака.

Установлено качественное и количественное соответствие результатов теоретического исследования с результатами лабораторных и промышленных экспериментов.

Использованы методы математического и физического моделирования, а также проведен ряд промышленных экспериментов в условиях АО «Оскольский электрометаллургический комбинат». При выполнении исследований использовалось современное сертифицированное оборудование: прибор эмиссионного спектрального анализа ИСКРОЛАЙТ 100 и рентгенфлуоресцентный спектрометр Bruker S4 PIONEER. Для анализа результатов проведенных промышленных и лабораторных экспериментов использовались современные программные продукты MatLAB и MS Excel.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии во всех этапах процесса подготовки диссертационной работы, в том числе в постановке задач исследования, в поиске научной литературы по тематике исследований, в сборе, обработке и анализе промышленных данных, разработке методик эксперимента, проведении расчетов и экспериментов, обработке экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов, в апробации результатов исследований на промышленных предприятиях, в формулировке выводов проведенных исследований. Автору принадлежит основной вклад в написании большинства публикаций и выступлений, отражающих суть выполненной работы.

Диссертация охватывает основные вопросы, поставленной научной задачи (проблемы), и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается логичной связью между частями работы, а также последовательностью теоретических и экспериментальных исследований.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, в которой сформулированы новые теоретические положения о процессе вспенивания сталеплавильных шлаков и изложены новые

научно обоснованные технические и технологические решения по совершенствованию теплотехнических, энергетических и технологических параметров электроплавки с учетом факторов теплового состояния ванны, основанные на теоретическом и экспериментально обоснованном механизме вспенивания шлака в дуговой сталеплавильной печи с использованием металлизированных окатышей. Полученные результаты имеют существенное значение и позволяют решить в масштабах металлургической отрасли страны актуальную и важную научно-техническую проблему - повышения производительности, энергосбережения и ресурсосбережения.

На основании этого на заседании 27 октября 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Кожухову А.А. ученую степень доктора технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов по специальности рассматриваемой диссертации 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета

Д 212.132.02, проф., д.т.н.

Белов Владимир Дмитриевич

Ученый секретарь диссертационного

совета Д 212.132.02, доц., к.т.н.

Колтыгин Андрей Вадимович

27.10.2016 г.