

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.437.01 (Д 212.298.01),  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 24.11.2021 г. № 42

О присуждении Шкирмонтову Александру Прокопьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Развитие теоретических основ совершенствования энерго-технологических параметров выплавки ферросплавов углеродотермическим процессом с целью повышения показателей работы электропечей» по научной специальности 2.6.2. (05.16.02) – Металлургия черных, цветных и редких металлов, принята к защите от 12.07.2021 г., протокол заседания № 42П, диссертационным советом 24.2.437.01 (Д 212.298.01), созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)») Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76, утвержденный приказом № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Шкирмонтов Александр Прокопьевич, 15 июня 1954 года рождения. В 2021 г. окончил докторантуру ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» по кафедре пиromеталлургических процессов.

Диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук на тему «Улучшение энерготехнологических параметров и повышение мощности ферросплавных печей для выплавки ферросилиция, ферромарганца и сили-

комарганца» защитил в 1984 г. (протокол № 113 от 22.03.1984 г.) в диссертационном совете, созданном на базе Московского института стали и сплавов (диплом ТН № 079449 от 27.03.1985 г.). Учёное звание старшего научного сотрудника по специальности «Металлургия черных металлов» присвоено решением ВАК при Совете Министров СССР от 17.10.1990 г., № 39с/2 (аттестат СН № 066233). В настоящее время работает в должности научного редактора Некоммерческого партнёрства Издательский дом «Панорама», г. Москва.

Диссертация выполнена на кафедре пиromеталлургических процессов в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

*Научный консультант* – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Рощин Василий Ефимович, кафедра пиromеталлургических процессов, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

*Официальные оппоненты:*

– Картавец Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова", профессор кафедры теплотехнических и энергетических систем, г. Магнитогорск.

– Сивцов Андрей Владиславович, доктор технических наук. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник, г. Екатеринбург.

– Шешуков Олег Юрьевич, доктор технических наук, профессор. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего об-

разования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», директор Института новых материалов и технологий, заведующий кафедрой металлургии железа и сплавов, г. Екатеринбург, дали положительные отзывы на диссертацию.

*Ведущая организация:* федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой электротехнологии, электрооборудования и автоматизированных производств, кандидатом технических наук, доцентом Калининым Алексеем Германовичем и профессором кафедры электротехнологии, электрооборудования и автоматизированных производств, доктором технических наук, профессором Мироновым Юрием Михайловичем, утверждённым проректором по научной работе, доктором экономических наук, профессором Кадышевым Евгением Николаевичем указала, что, учитывая положительные результаты теоретических, лабораторных, полупромышленных и промышленных исследований, предложенных методов повышения эффективности работы электропечей, можно рекомендовать их использование в электрометаллургии ферросплавов ПАО «НЛМК», АО «СЗФ», АО «ЧЭМК», ООО «БФЗ», при совершенствовании и разработке плавильных агрегатов на ОАО НПО «Электро-терм», а также на АО «СКБ Сибэлектротерм».

Также в отзыве ведущей организации отмечено, что диссертационная работа «Разработка теоретических основ совершенствования энерготехнологических параметров выплавки ферросплавов углеродотермическим процессом с целью повышения показателей работы электропечей» по своей актуальности, научной новизне, теоретической значимости, степени достоверности результатов является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям, предъявляемым в п. 9. Положения о присуждении учёных степеней (Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, в ред. от

01.10.2018 г., с изм. от 26.05.2020 г. «О порядке присуждения учёных степеней»). Автор диссертации Шкирмонтов Александр Прокопьевич заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.2 (05.16.02) – металлургия черных, цветных и редких металлов.

Соискатель имеет 176 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 77 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 28 работ, авторские свидетельства – 4, статьи в других журналах и сборниках конференций – 44, монография – 1.

В изданиях, которые входят в Международные базы данных систем цитирования, опубликовано 9 работ в переводных периодических изданиях: «Steel in Translation» – 3 (Scopus, квартиль Q2); «Metallurgist» – 6 (Scopus, квартиль Q3).

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

**Журналы из Перечня ВАК Минобрнауки России, Scopus:**

1. Шкирмонтов А.П. Разработка теоретических основ и энерготехнологических параметров выплавки ферросплавов с увеличенным подэлектродным промежутком // Металлург. – 2009. – № 5. – С. 57 – 62.  
Shkirmontov A.P. Establishing the theoretical foundations and energy parameters for the production of ferroalloys with a larger-than-normal gap under the electrode // Metallurgist. – 2009. – V. 53. – N 5–6. – P. 300 – 308. *Scopus, Q3.*
2. Шкирмонтов А.П. Теоретические основы и энерготехнологические параметры выплавки ферросилиция с увеличенным распадом электродов и подэлектродным промежутком // Металлург. – 2009. – № 6. – С. 68 – 72.  
Shkirmontov A.P. Theoretical principles and energy parameters in ferrosilicon production with an increase in the electrode spacing and the distance from the electrodes to the bath // Metallurgist. – 2009. – V. 53. – N 5–6. – P. 373 – 379. *Scopus, Q3.*
3. Шкирмонтов А.П. Разработка энерготехнологических параметров выплавки марганцевых ферросплавов с увеличенным подэлектродным промежутком и распадом электродов // Металлург. – 2009. – № 8. – С. 76 – 79.

Shkirmontov A.P. Determination of the energy parameters for the smelting of manganese ferroalloys with increases in the electrode gap and electrode spacing // Metallurgist. – 2009. – V. 53. – N 7-8. – P.512 – 517. *Scopus, Q3*.

4. Шкирмонтов А.П. Энерготехнологические параметры выплавки ферросилиция с увеличенными значениями подэлектродного промежутка и распада электродов в заводских условиях // Metallurg. – 2009. – № 10. – С. 64 – 67.

Shkirmontov A.P. Energy parameters of ferrosilicon production with larger-than-normal values for the electrode gap and electrode spacing under factory conditions // Metallurgist. – 2009. – V. 53. – N 9–10. – P. 642 – 647. *Scopus, Q3*.

5. Шкирмонтов А.П. Определение комплекса параметров для получения энерготехнологического критерия работы ферросплавной электропечи // Главный энергетик. – 2010. – № 5. – С. 44 – 50.

6. Шкирмонтов А.П. Анализ составляющих величин энерготехнологического критерия работы ферросплавной электропечи // Электromеталлургия. – 2011. – № 8.– С. 30 – 33.

7. Шкирмонтов А.П. Взаимосвязь распада электродов и величины подэлектродного промежутка в ферросплавной печи // Сталь.–2012.– № 3.– С. 26–29.

Shkirmontov A.P. Relation between the Electrode Spacing and the Electrode Height in Ferroalloy Furnaces // Steel in Translation. – 2012. – V. 42. – № 3. – P. 249 – 251. *Scopus, Q2*.

8. Шкирмонтов А.П. Энерготехнологические параметры, структура и процессы в реакционной зоне электропечи при выплавке ферромарганца // Главный энергетик. – 2014. – № 6. – С. 38 – 48.

9. Шкирмонтов А.П. Влияние подэлектродного промежутка и распада электродов на энерготехнологический критерий работы ферросплавной электропечи // Электromеталлургия. – 2017. – № 8. – С. 33 – 40.

10. Шкирмонтов А.П. Энерготехнологический критерий работы

ферросплавной печи при выплавке углеродистого феррохрома // Электromеталлургия. – 2017. – № 11. – С. 32 – 38.

11. Шкирмонтов А.П. Энерготехнологическая эффективность работы ферросплавных электропечей // Сталь. – 2018. – № 6. – С. 16 – 20.

Shkirmontov A.P. Energy–Technology Efficiency of Ferroalloy Electrofurnaces // Steel in Translation. – 2018. – V. 48. – № 6. – P. 376 – 380. *Scopus, Q2*.

12. Шкирмонтов А.П. Выплавка ферросилиция с позиции энерготехнологического критерия работы ферросплавной электропечи // Бюллетень НТИ Черная металлургия. – 2018. – № 8. – С. 43 – 49

13. Шкирмонтов А.П. Комплексный энерготехнологический параметр работы ферросплавной электропечи / А.П. Шкирмонтов, В.Е. Рощин // Сталь. – 2020. – № 2. – С. 20 – 25. (6 с. / 3 с.)

14. Шкирмонтов А.П. Техничко-экономические показатели выплавки и энерготехнологический критерий работы ферросплавной электропечи / А.П. Шкирмонтов, В.Е. Рощин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия. Металлургия.– 2020.– Т. 20.– №2. – С. 33 – 42. (10 с. / 5 с.)

#### **Монография:**

15. Шкирмонтов А.П. Энерготехнологические параметры выплавки ферросплавов в электропечах: монография. – М.: Издательский дом «МИСиС». – 2018. – 216 с.

На диссертацию и автореферат поступили 25 отзывов. Все отзывы положительные:

1. От заведующего лабораторией ферросплавов и техногенного сырья (МТ-1) ГНЦ ФГУП «ЦНИИ чермет им. И.П. Бардина», г. Москва, к.т.н., с.н.с. Ермолова Виктора Михайловича. Вопросы и замечания отсутствуют.

2. От президента компании ООО «Регул-Консалт», г. Москва, д.т.н., профессора МИСиС Жданкина Николая Александровича. Вопросы и замечания отсутствуют.

3. От старшего научного сотрудника лаборатории плазменных процессов в металлургии и обработке материалов ФГБУН ИМЕТ РАН, г. Москва, к.т.н. Николаева Андрея Анатольевича. Вопросы и замечания отсутствуют.

4. От заместителя генерального директора по внешней экономической деятельности, к.т.н. Овчинникова Александра Михайловича, заместителя главного редактора Бюллетеня НТИ «Чёрная металлургия», к.э.н. Бессонова Анатолия Васильевича, ЦНИИ информации и технико-экономических исследований чёрной металлургии, г. Москва. Вопросы и замечания: 1) Возможности повышения теплового КПД ферросплавных печей; 2) Подробности предложенной концепции выплавки ферросплавов с автономными плавильными зонами.

5. От профессора кафедры «Металлургия черных металлов» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, д.т.н., проф. Рожихиной Ирины Дмитриевны. Вопросы и замечания: 1) При выплавке углеродистого ферромарганца с повышенной основностью шлака, увеличивается температура и повышается извлечение марганца в сплав, но ведь должен расти и улет марганца; 2) Как проходил выпуск расплава, по варианту автономных, плавильных зон под электродами в ванне печи и как меняются тепловой КПД; 3) На последней стадии схемы процесса восстановления кремния (стр. 18) должен образовываться кремний, а не монооксид кремния; 4) Как значительное увеличение распада электродов до (4,5–6,0) влияет на состояние футеровки; 5) Как влияет увеличение подэлектродного промежутка на температуру металла и шлака; 6) Нет сравнения величин энерготехнологического критерия для открытых и закрытых печей; 7) Применяя термин оксид кремния, следует различать в описании монооксид кремния и диоксид кремния; 8) Значения температуры следует приводить в системе СИ: град. К° (видимо, для К, опечатка в отзыве).

6. От научного консультанта, д.т.н., проф. Рябчикова Ивана Васильевича и руководителя отдела инноваций, модернизации и технического развития Бакина

Игоря Валерьевича, ООО НПП Технология, г. Челябинск. Вопросы и замечания отсутствуют.

7. От заведующего отделом металлургии ФГБУН ВИНТИ РАН, г. Москва, д.т.н., проф. Матвеева Бориса Николаевича. Вопросы и замечания отсутствуют.

8. От заведующего кафедрой автоматизации технологических процессов и производств ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург, д.т.н., проф. Бажина Владимира Юрьевича. Вопросы и замечания: 1) Как повысить тепловой КПД ферросплавной печи; 2) При увеличении распада электродов какие возможны варианты ванны печей для рационального ведения процесса.

9. От профессора кафедры электроснабжения промышленных предприятий ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, д.т.н., доц. Грачёвой Елены Ивановны. Вопросы и замечания: 1) В каком диапазоне находится коэффициент загрузки трансформатора и какое значение является оптимальным для различных мощностей ферросплавных печей; 2) Существуют ли нормативные показатели удельного расхода электроэнергии для углеродистого феррохрома.

10. От заведующего кафедрой металлургии цветных металлов, д.т.н., проф. Немчиновой Нины Владимировны и доцента кафедры металлургии цветных металлов, к.т.н., доц. Тюрина Андрея Александровича, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск. Вопросы и замечания: 1) Предлагаемые технологии в основном направлены на повышение коэффициента мощности печи, как при этом меняется тепловой КПД, например при увеличении подэлектродного расстояния и распада электродов; 2) Насколько осуществимо увеличение глубины ванны работающей печи. Какие затраты это повлечёт или данное решение ориентировано на проектирование новых агрегатов; 3) Технология с изолированными автономными пла-



вильными зонами в печи. Это физическое разделение в плавильной ванне печи;

4) Применение мелочи кварцита для повышения активного сопротивления ванны возможно только для производства ферросилиция.

11. От заведующего кафедрой металлургии и химических технологий, д.т.н., доц. Харченко Александра Сергеевича; профессора кафедры металлургии и химических технологий, д.т.н., доц. Сибягатуллина Салавата Камилевича; заведующего кафедрой автоматизированного электропривода и мехатроники, к.т.н., доц. Николаева Александра Аркадьевича; доцента кафедры металлургии и химических технологий, к.т.н., доц. Потаповой Марины Васильевны, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Вопросы и замечания: 1) Сопоставление по энерготехнологическому критерию ферросплавных печей различных предприятий по типу (открытые, закрытые), форме ванны (круглые, треугольные) вызывает вопросы; 2) В основных выводах отмечены варианты выплавки чернового ферроникеля, но в автореферате отсутствует подробная информация; 3) Из автореферата не ясно снижение коэффициента извлечения хрома, марганца и никеля в условиях повышения мощности печей; 4) В автореферате не приведена информация об актах разработанных автором решений и применения методики оценки работы электропечей; 5) По оформлению автореферата имеются замечания: опечатки, нарушение пунктуации и др.

12. От заместителя директора по научной работе ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва, д.т.н. Косырева Константина Львовича. Вопросы и замечания: 1) Желательно расшифровать подробнее какая получена новая информация о процессе выплавки ферросплавов при рассмотрении комплекса параметров печей; 2) В тексте автореферата имеется ссылка на проведение исследований на электролитических моделях электропечей (стр.14). Желательно пояснить методику и конкретные результаты исследований; 3) В представленных материалах уделено недостаточное внимание влиянию энергетических парамет-

ров и разработанного энерготехнологического критерия на физико-химические закономерности.

13. От заместителя директора по научной работе, д.т.н. Заякина Олега Владимовича и главного научного сотрудника, профессора, д.т.н. Жучкова Владимира Ивановича, ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург. Вопросы и замечания: 1) В Институте металлургии АН Грузии в 80-е годы прошлого столетия были проведены исследования по влиянию увеличения распада электродов в рудовосстановительных печах, разработана, изготовлена и успешно испытана конструкция электропечи. Рассматривались эти работы в обзоре.

14. От главного металлурга ПАО «Ключевской завод ферросплавов», Свердловская обл., п. Двуреченск, к.т.н. Мальцева Юрия Борисовича. Вопросы и замечания: 1) Как повысить тепловой КПД для выплавки ферросплавов шлаковым и бесшлаковым процессом; 2) Необходимо конкретизировать основные положения снижения удельного расхода электроэнергии на выплавку ферросплавов при увеличении распада электродов и подэлектродного промежутка в ванне печи.

15. От заведующего кафедрой автоматизированных электротехнологических установок Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, д.т.н., проф. Алиферова Александра Ивановича. Вопросы и замечания: 1) На стр. 20 автореферата при анализе поведения коэффициента мощности, делается допущение, о малом значении индуктивного сопротивления ванны печи. Требуется пояснение по данному допущению; 2) На стр. 12 автореферата, представлена зависимость полезного сопротивления ванны печи от полезной мощности печи; с увеличением мощности это сопротивление уменьшается, причиной этого является увеличение диаметра электрода. Такое возможно при неизменном распаде электродов. При другом варианте требуется пояснение такой зависимости; 3) В автореферате показано, что активное сопротивление

ванны печи повышается с увеличением подэлектродного промежутка, диаметра распада электрода и глубины ванны. Увеличение глубины ванны печи вызывает сомнение, так как сопротивление расплава переменному току определяется конфигурацией растекания тока в расплаве, чем больше распад электродов, тем больше тока в расплаве, но толщина слоя, по которому протекает ток в расплаве определяется глубиной проникновения переменного тока в расплав.

16. От профессора кафедры «Технология материалов» Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, д.т.н. Зюбана Николая Александровича. Вопросы и замечания: 1) При оценке влияния энерготехнологического критерия на себестоимость сплава на рис. 16, стр. 32 приведены результаты только по углеродистому феррохрому и ферросилицию, и отсутствуют данные по такому широко распространённому сплаву как ферромарганец.

17. От доцента кафедры «Металлургические технологии и оборудование» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, к.т.н., доц. Беляева Сергея Владимировича. Вопросы и замечания: 1) Как влияет повышенное напряжение на электробезопасность ферросплавной печи; 2) Как повышение энерготехнологического параметра печи, за счёт увеличения подэлектродного промежутка и глубины ванны влияет на стойкость футеровки.

18. От заведующего кафедрой металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов, д.т.н., проф. Дуба Алексея Владимировича и доцента кафедры металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов к.т.н., доц. Котельникова Георгия Ивановича, ФГАОУ ВО «Научно-исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва. Вопросы и замечания: 1) В работе не обсуждены предельные значения энерготехнологического критерия эффективности ферросплавной электропечи; 2) Установлено, что между энерготехнологическим критерием и удельным рас-

ходом электроэнергии имеется прямая связь, возникает вопрос, почему не использовать удельный расход электроэнергии вместо энерготехнологического критерия; 3) Предлагается значительно увеличить промежуток между электродом и подиной и диаметр распада электродов, что улучшает показатели работы печи. Какие варианты способов осуществления этих предложений в условиях производства; 4) Работа несомненно бы выиграла бы, если бы в ней содержались экономические оценки эффективности предлагаемых инноваций.

19. От профессора кафедры промышленного менеджмента ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», г. Москва, д.т.н., проф. Богданова Сергея Васильевича. Вопросы и замечания: 1) Автору целесообразно было бы более полно пояснить сущность и технико-технологическое содержание энерготехнологического критерия (с. 15 автореферата), используемого для оценки работы ферросплавной печи. Этот своеобразный параметр представляет собой некий специфический интегральный показатель, который не совсем корректно отражает комплексный характер влияния разнородных по своей сущности, но связанных между собой электрических и технологических показателей процесса выплавки металла в электропечи. В соответствии с основными положениями квалиметрии и методикой, по которой в качестве обобщённого показателя интегральной оценки рекомендовано использовать среднегеометрическое значение показателя. Выбор автором конкретных значений электрических, теплового и технологических параметров для расчёта критерия печи необходимо пояснить дополнительно, поскольку эти показатели меняются в течение плавки и могут существенно отличаться для различных кампаний в зависимости от номенклатуры ферросплавов, варианта технологии и конструкции; 2) В автореферате на с. 33 автор акцентирует внимание на использование энерготехнологического критерия при энергоаудите ферросплавных печей, отмечая при этом изменение указанного критерия для различных вариантов значений диаметра распада электродов, вида и свойств углеродистых восстановителей. Изменение та-

кого критерия, определяющего экономическую и коммерческую привлекательность его использования для оценки «повышения эффективности в сфере электрометаллургии ферросплавов» целесообразно было бы подтвердить результатами конкретных расчётов экономической эффективности, зависящей от энерготехнологического критерия, а не только от применения новых технологических способов, методов, материалов, конструкторских или технических решений в условиях реального производства. Удобный для аудита критерий вряд ли может служить единственной объективной оценкой эффективности или коммерческой привлекательности использования объектов интеллектуальной или промышленной собственности в металлургическом производстве.

20. От профессора кафедры металлургии, машиностроения и технологического оборудования ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет», г. Череповец, д.т.н., проф. Кабакова Зотей Константиновича. Вопросы и замечания: 1) «Теоретические основы совершенствования...» изложенные в автореферате, по-видимому, сводятся к комплексному энерготехнологическому критерию. Результаты совершенствования на основе этого критерия не обобщены в виде общей методологии совершенствования существующих и новых технологий выплавки ферросплавов; 2) Положения выносимые на защиту, обычно представляют собой самые важные результаты диссертации. С точки зрения следующих положений на стр. 9 автореферата редакционно формулируются не совсем корректно: «комплексный анализ работы...», «анализ составляющих величин...», «анализ технологии выплавки...» Анализ – это процесс, метод исследования, а не результат исследования. Указанные замечания носят формальный характер и не затрагивают обоснованность и достоверность результатов исследований и выводов диссертации.

21. От профессора кафедры металлургии черных металлов, д.т.н., проф. Протопопова Егения Валентиновича и заведующего кафедрой прикладных информационных технологий и программирования, д.т.н., доц. Рыбенко Инны

Анатольевны, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк. Вопросы и замечания: 1) В автореферате отмечается тепловая работа электропечей, но не представлена информация по деталям теплового баланса; 2) На рисунке 14 (стр. 28) представлены теоретические зависимости распределения  $L_{Mn}$  и  $L_{Si}$ , но не приведены значения коэффициентов корреляции. Ось абсцисс подписана как  $1/T$ , а единица измерения, должна быть  $1/K$ ; 3) В автореферате не достаточно полно раскрыт интересный вариант технологии с изолированными плавильными зонами под каждым электродом. Пока нельзя сделать однозначный вывод о перспективах его применения на новых сверхмощных печах.

22. От и.о. начальника Управления сквозной оптимизации технологии и регламентации, к.ф.-м.н. Белоусова Владислава Александровича и руководителя проектов Управления сквозной оптимизации технологии и регламентации, к.т.н., доц. Титова Владимира Николаевича, ПАО «НЛМК», г. Липецк. Вопросы и замечания: 1) Из автореферата непонятно, можно ли использовать предложенный диссертантом энерготехнологический критерий для оценки влияния технологического режима на эмиссию парниковых газов ( $CO_2$ ) при производстве ферросплавов.

23. От заведующего кафедрой «Металлургические технологии», к.т.н., доц. Роговского Александра Николаевича и доцента кафедры «Металлургические технологии», к.т.н. Шипельникова Алексея Александровича, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк. Вопросы и замечания: 1) Автором представлена новая методика сравнительной оценки эффективности выплавки ферросплавов в печах различных конструкций и технологии на основе критерия  $Sh$ . В качестве замечания можно отметить недостаточность разметки вертикальной оси факторов, составляющих значения  $Sh$  на рисунке 11, стр. 24, что затрудняет их численную оценку.

24. От технического директора, к.т.н. Шустрова Андрея Юрьевича, ОАО

НПО «Электротерм», г. Новосибирск. Вопросы и замечания: 1) При обосновании комплектности введённого автором энерготехнологического критерия ферросплавной электропечи не учитываются термодинамические и температурно-временные параметры технологических процессов восстановления и разделения компонентов отличающихся различных ферросплавов; 2) В работе не представлены результаты, обосновывающие применимость введённого критерия для всех типов материалов и процессов выплавки ферросплавов углеродотермическим методом в руднотермических электропечах; 3) Достаточно спорен тезис о повышении мощности за счёт увеличения подэлектродного расстояния. Для случаев шлаковых процессов в режиме погруженной дуги выделение тепла идёт за счёт активного сопротивления при протекании электрического тока через жидкую фазу. Повышение подэлектродного расстояния приведёт к разрыву электрической цепи и переходу процесса в дуговой режим, что не всегда желательно; 4) Автором в работе не рассмотрены последствия существенного увеличения межэлектродного пространства, ведущего к изменению распределения электрических токов в ванне и протеканию термохимических процессов; 5) В представленных материалах работы отсутствует рассмотрение аспектов изменения геометрических и электротехнических параметров печей.

25. От руководителя департамента проектов, к.т.н. Серикова Виктора Андреевича, ОАО НПО «Электротерм», г. Новосибирск. Вопросы и замечания: 1) На стр. 26 автореферата при анализе влияния подэлектродного промежутка на энерготехнологический критерий предложено решение по увеличению активного сопротивления ванны за счет увеличения подэлектродного промежутка. Не понятно, как удалось без увеличения распада электродов; 2) В автореферате применяется понятие «подэлектродный промежуток», приводится его зависимость от разных параметров, как оценивалась сама величина промежутка не пояснено; 3) В автореферате, при увеличении подэлектродного промежутка увеличивается сопротивление ванны печи; при этом между электродом и распла-

вом горит дуга, сопротивление которой включено последовательно с сопротивлением ванны расплава; так как сопротивление дугового разряда значительно превышает сопротивление расплава, то корректнее говорить не о сопротивлении ванны печи, а об «эквивалентном сопротивлении ванны печи», в сумме сопротивления дуги и расплава; 4) В работе описывается зависимость увеличения количества меди от увеличения мощности печи. Безусловно количество меди возрастает с увеличением мощности печей, как и черной и нержавеющей стали, так как печь становится больше. Увеличиваются капитальные и эксплуатационные затраты. Увеличится количество выпускаемого продукта. Не проводя серьёзный анализ, на первый взгляд кажется, что соотношение увеличения меди из-за увеличения мощности к увеличению выпуска продукта становится меньше. Также при увеличении мощности печи и, соответственно, при увеличении выпуска продукта сохраняется количество обслуживающего персонала, а это значительная составляющая эксплуатационных затрат.

*Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием темы диссертационной работы соискателя профилю их научной деятельности и области научных компетенций. Оппоненты и ведущая организация широко известны своими достижениями в данной области науки, имеют публикации по исследованиям, близким к проблеме работы соискателя. Благодаря этому они способны определить научную новизну и практическую ценность диссертации соискателя.*

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: *разработан* комплекс мероприятий для повышения энерготехнологических параметров работы электропечей при выплавке ферросплавов углеродотермическим процессом; *разработана*, научно обоснована и экспериментально подтверждена новая технология выплавки ферросплавов с увеличенным подэлектродным промежутком (электрод–подина). Технология выплавки с увеличенным подэлектродным промежутком (от традиционной величины



0,6–0,8 до 6,0 диаметров электрода) осуществляется без уменьшения заглубления электродов в шихту при увеличении глубины ванны в условиях ограничения отвлечения тока между электродами. При этом качественно меняется картина ввода дополнительной мощности в ванну электропечи – не за счёт увеличения силы тока, а благодаря увеличению в 2,5 раза сопротивления ванны и напряжения, что энергетически более выгодно и эффективно. В результате при выплавке ферросилиция улучшаются параметры работы печи: электрический КПД, коэффициент мощности, тепловой КПД без уменьшения извлечения ведущего элемента при получении стандартного ферросплава и снижается удельный расход электроэнергии. *Предложена* и опробована принципиально новая концепция выплавки ферросплавов по варианту автономных изолированных плавильных зон под электродами в ванне печи под слоем шихты и, соответственно, выпуском расплава из-под каждого электрода как наиболее эффективное решение научно-технической проблемы повышения активного сопротивления ванны ферросплавных печей и улучшения энерготехнологических параметров. Разработанный вариант концепции выплавки с автономными плавильными зонами включает сочетание двух технических решений: 1) использование технологии выплавки ферросплавов с увеличенным подэлектродным промежутком; 2) применение электропечи со значительно (в 2,1–2,8 раза) увеличенным относительным расходом электродов и более глубокой ванной. *Доказано*, что данное комплексное решение приводит к повышению в 2,2–2,6 раза сопротивления ванны, напряжения и дополнительной мощности в ванне печи (каждый показатель) без ухудшения степени извлечения ведущего элемента. Улучшаются коэффициент мощности, электрический и тепловой КПД печи, снижается удельный расход электроэнергии. *Введено* в электрометаллургию ферросплавов новое понятие – энерготехнологический критерий работы ферросплавной электропечи. Полученная безразмерная величина определяется на основе комплекса технологических, электрических и теплотехнических параметров выплавки

ферросплавов и однозначно характеризует эффективность работы электропечи, а также может быть использована для совершенствования технологии выплавки и конструкции печных агрегатов. При этом энерготехнологический критерий ферросплавной печи включает степень извлечения ведущего элемента в сплав, тепловой КПД печи, коэффициент мощности, электрический КПД и коэффициент загрузки трансформатора.

*Теоретическая значимость исследования* обоснована тем, что на основании преобразований и получения новой формы критерия электрического подобия ферросплавной печи доказана целесообразность увеличения подэлектродного промежутка (электрод – подина) для улучшения параметров выплавки. Применительно к проблематике диссертации это позволило увеличить плавильную зону (электрод – подина) свыше традиционной величины (0,60–0,85 диаметров электрода), повысить активное сопротивление, напряжение и мощность печи в 2 раза и более. *Изучены* закономерности изменения энерготехнологического критерия работы печи и удельного расхода электроэнергии при изменении геометрических параметров ванны печи, расстояния между электродами, мощности печного трансформатора, электрических параметров на вторичной стороне печи, качества шихтовых материалов и технологических параметров выплавки ферросплавов.

*Приведены* положения, позволяющие более полно и комплексно оценить работу ферросплавной печи с позиции энергоресурсосбережения. *Показано*, что при выплавке 75 %-ного ферросилиция энерготехнологический критерий изменяется в пределах 0,293–0,317 для хорошо работающих печей и в диапазоне 0,248–0,283 для печей, работающих удовлетворительно. С помощью энерготехнологического критерия печи *раскрыты* особенности работы обычной печи при повышении рабочего напряжения: при увеличении напряжения (+ 8,1 %) увеличиваются коэффициент мощности (+2,5 %), электрический КПД (+2,3 %) и коэффициент загрузки трансформатора, однако тепловой КПД снижается (– 5,5 %)

и, соответственно, уменьшается извлечение ведущего элемента в сплав (– 3 %). В результате при выплавке 75 %-ного ферросилиция энерготехнологический критерий печи снижается с 0,301 до 0,289 и на 6,3 % (от 8725 до 9278 кВт·ч/т) растёт удельный расход электроэнергии.

*Значения полученных соискателем результатов исследования для практики* подтверждаются тем, что с использованием энерготехнологического критерия *разработаны* методы оценки эффективности работы электропечей, которые *внедрены* на двух печах мощностью по 29 МВ·А завода «Кузнецкие ферросплавы» при выплавке 75 %-ного ферросилиция. Применение на одной из печей увеличенного распада электродов (3,4 м вместо с 3,0 м) и восстановителя с повышенным удельным электросопротивлением в виде полукокса увеличило энерготехнологический критерий от 0,203 до 0,258 при снижении удельного расхода электроэнергии на 615 кВт·ч/т или на 6,8 %.

*Разработана* концепция получения ферросплавов по варианту выплавки с автономными плавильными зонами в ванне, которая *отработана* на крупномасштабных опытных электропечах и в условиях Аксуского завода ферросплавов *подтверждена* положительными результатами полупромышленной выплавки 45 %-ного ферросилиция. Для этого процесса *определены* увеличенный в 3 раза подэлектродный промежуток (2,27–2,42 диаметров электрода) и повышенный (5,6 диаметров электрода) распад электродов печи. В результате сопротивление ванны, мощность и рабочее напряжение увеличились в 2 раза без изменения диаметра электродов и силы тока. Улучшились коэффициент мощности, электрический и тепловой КПД печи. По сравнению с базовым вариантом *получено* увеличение энерготехнологического критерия печи на 29,8 % и снижение удельного расхода электроэнергии (на 1 баз. т сплава) на 16,7 %. На основании результатов полупромышленной выплавки на печах РКЗ-16,5/22,5 увеличены диаметр распада электродов от проектных размеров 2,9 м до 3,7–3,8 м и на печах РКЗ-81 от 5,2 м до 5,7–5,8 м.

На основании полученных зависимостей *разработана система практических рекомендаций* по соотношению величин распада электродов и подэлектродного промежутка в ванне печи как при традиционных величинах распада электродов 2,10–2,30 и подэлектродного промежутка 0,60–0,85 (в диаметрах электрода), так и для увеличенных значений этих параметров.

*Создана схема универсальной оценки эффективности* получения ферросплавов в электропечах различных конструкций и технологий. *Проведена оценка эффективности* выплавки в печах переменного тока промышленной частоты, в печах с пониженной частотой тока, в печах постоянного тока с открытой и закрытой дугой, а также в плазменных электропечах.

*Оценка достоверности результатов исследования выявила*, что экспериментальные работы выполнены с использованием современного оборудования и воспроизводимости результатов выплавки. *Теоретическое обоснование* причин для улучшения энерготехнологических параметров выплавки при повышении активного сопротивления ванны ферросплавной печи согласуется с опубликованными данными. *Идеи разработки базируются* на различных источниках, анализе теоретических преобразований опубликованных работ и обобщения промышленного передового опыта. *Использовано сравнение* полученных автором результатов с данными отечественных и зарубежных источников, что позволило детально исследовать вопрос о возможности значительного повышении активного сопротивления ванны и улучшения энерготехнологических параметров работы ферросплавных печей.

*Личный вклад соискателя состоит* в определении актуальности, цели и постановке задач исследования, разработке методик, организации и проведении исследований по выплавке ферросплавов в электропечах, непосредственное участие соискателя в получении исходных данных и научных экспериментах; обработке, анализе и обобщении результатов исследований; в формулировании выводов; личное участие в апробации работы, участие в конференциях и напи-

сании статей.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: по изменению извлечения ведущего элемента сплава, по определению теплового КПД печи, теоретического и фактического расхода электроэнергии на выплавку ферросилиция, а также изменению распада электродов:

Вопрос: Почему извлечение ведущего элемента при выплавке марок ферросилиция и кремния описывается степенной зависимостью (плакат).

Ответ: При выплавке на кусковой шихте от 45 %-ного ферросилиция до высокопроцентных марок наблюдается значительное снижение извлечения кремния, так как при выводе железа из шихты отмечен повышенный улет кремния в виде монооксида. Выплавка высокопроцентных марок сплава по сравнению с 45 %-ным ферросилицием происходит более бурно, а потери кремния в улет выше. Соответственно, извлечение ведущего элемента при увеличении содержания кремния в сплаве от низкопроцентных до высокопроцентных марок ферросилиция и технического кремния хорошо описывается квадратичной зависимостью.

Вопрос: Как определяли удельные расходы электроэнергии при выплавке ферросилиция и тепловой КПД печи (плакат).

Ответ: Фактические удельные расходы электроэнергии определяли по расходу активной мощности на печи и относили к количеству полученного сплава. Теоретический расход электроэнергии определяли на основе тепла химических реакций при составлении сначала материального баланса и затем энергетического баланса выплавки. При этом отмечено, что фактический удельный расход электроэнергии на 1 т сплава почти в 2 раза выше теоретического удельного расхода электроэнергии. Этим обусловлен невысокий тепловой КПД печи (в основном 0,45–0,48 для низкошахтной ферросплавной электропечи) как соотношение удельных расходов – теоретического к фактическому.

Вопрос: Какие с позиции энерготехнологического критерия печи могут быть перспективы для установки новых ферросплавных электропечей?

Ответ: Далеко не всегда новая технология выплавки ферросплавов или технические решения в конструкции печей позволяют получить планируемый результат по отношению к базовому варианту. По относительному изменению энерготехнологического критерия печи (плакат) можно оценить эффективность работы печей переменного тока, печей постоянного тока, а также плазменных печей относительно традиционного варианта, что позволяет выявить достоинства и недостатки работы новых электропечей, наметить пути совершенствования технологии и печной конструкции.

Вопрос: По поводу новизны изменения распада электродов. При освоении выплавки силикокальция улучшения в работе печи произошли при увеличении распада электродов. А при выплавке углеродистого феррохрома с увеличением мощности печей для работы центра печи пошли на уменьшение распада электродов?

Ответ: При выплавке силикокальция в электропечи отмечается самая малая из группы ферросплавов величина сопротивления ванны. Поэтому для улучшения работы печи требуется увеличить распад электродов, так как в этом случае доля тока ответвления между электродами значительна. При этом как показано (плакат), в работе была получена зависимость, когда для нормальной работы печи и увеличения сопротивления ванны увеличенному распаду электродов должен соответствовать и больший подэлектродный промежуток. Аналогично для углеродистого феррохрома работу печи нормализовали, когда диаметр распада электродов и длину подэлектродного промежутка в ванне привели в соответствие.

Соискатель Шкирмонтов А.П. ответил на вопросы и привёл собственную аргументацию относительно повышения эффективности и улучшения энерготехнологических параметров процесса выплавки ферросплавов в электропечах.

На заседании 24.11.2021 г. диссертационный совет принял решение: за разработку теоретических положений комплексной оценки работы ферросплавных печей, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, и новые научно обоснованные технические и технологические решения по совершенствованию конструкции печей, электрического режима и технологического процесса производства ферросплавов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, присудить Шкирмонтову Александру Ппокопьевичу учёную степень доктора технических наук по специальности 2.6.2 (05.16.02) – Metallurgy черных, цветных и редких металлов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 17, против – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Чуманов Илья Валерьевич

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Шабурова Наталия Александровна

24.11.2021 г.

