



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Ивановский государственный
энергетический университет
имени В.И. Ленина»
(ИГЭУ)

ул. Рабфаковская, 34, г. Иваново, 153003
тел.(4932) 32-72-43, факс (4932) 38-57-01
e-mail: office@ispu.ru

<http://игэу.рф> <http://ispu.ru>

№ 13-10/172 от 09.11.2016 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Ивановский
государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»,
Д.Т.Н. профессор

В.В. Тютиков



2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»
на диссертацию Феокистова Андрея Владимировича
«Развитие теории тепловой работы и технологических основ ресурсосбережения
в твердотопливных низкошахтных печах»,
представленную к защите по
специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика
на соискание ученой степени доктора технических наук

Актуальность темы исследования

Низкошахтные печи имеют ряд конкурентных преимуществ, к которым обычно относят экономичность, низкие удельные расходы топлива, глубокую утилизацию тепла отходящих газов, относительную простоту конструкции и др. Разработка ресурсосберегающих технологий шахтной плавки реализуется в основном за счет более детального изучения и уточнения основных закономерностей движения шихтовых материалов, газодинамики, тепломассопереноса на различных стадиях получения расплава.

Внедрение инновационных технологий и прогрессивных технических решений, направленных на разработку и применение комплекса мероприятий, обеспечивающих более полную реализацию скрытых резервов интенсификации тепло-массообменных процессов, повышение энерго- и ресурсосбережения при получении расплавов в низкошахтных печах весьма **актуально** для реального сектора

экономики. Переход на дешевые виды топлива, уменьшение потребления энергоресурсов и вредных выбросов в атмосферу, снижает себестоимость готовой продукции и повышает ее конкурентоспособность на отечественном и зарубежном рынках.

Диссертационная работа А.В. Феоктистова относится к отрасли промышленной теплоэнергетики и посвящена разработке и технологическому освоению научно обоснованных энергоэффективных технологий плавки чугуна и силикатных материалов в твердотопливных низкошахтных печах, что свидетельствует о несомненной **актуальности** исследований.

Работа выполнена в соответствии с перечнем критических технологий Российской Федерации – пункт «Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе» и приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники Российской Федерации – пункт «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика», в рамках Государственного задания Министерства образования и науки, регистрационный номер 7.3909.2011. (2013 – 2016 гг.), в соответствии с планами НИР и ОКР отраслевых организаций и предприятий.

Цель и задачи диссертации

Целью диссертационной работы А.В. Феоктистова является развитие теории тепловой работы, технологических основ ресурсосбережения и повышения энергоэффективности твердотопливных низкошахтных печей на основе интенсификации тепломассообменных процессов и замены топлива с кокса на антрацит и тощие угли.

Для достижения поставленной цели был решен комплекс трудоемких конструкторских и технологических задач, были разработаны теоретические основы сбережения энергетических ресурсов посредством замены кокса на антрацит, тощие угли и пылеугольное топливо при плавке чугуна и силикатных материалов в низкошахтных печах. Получены и научно обоснованы основные зависимости и закономерности для расчета конструктивных, технологических и теплотехнических параметров низкошахтных печей при переходе на другие виды твердого топлива. Разработана усовершенствованная комплексная детерминированная математическая модель процесса плавки материалов в низкошахтных печах, позволяющая выполнять численные расчеты и представлять их в виде номограмм процессов плавки. Разработан и сконструирован с учетом требований физического моделирования исследовательский полупромышленный комплекс на основе низкошахтной печи в целях исследования влияния различных технологических параметров (подогрев, увлажнение, обогащение кислородом дутья, замена кокса, используемого в качестве топлива, на антрацит и тощие угли) на процесс плавки. Разработана установка и методика исследования прочности твердого топлива под нагрузкой в процессе сжигания. Предложен широкий

спектр конструкторско-технологических решений при замене кокса на другие виды топлива с обоснованием уровня загрузки материалов в низкошахтную печь и определением расхода дутья при его двухрядной подаче, определением основных конструкционных и технологических параметров рекуперативных устройств. Проведены опытно-промышленные испытания и внедрены в производство энергоэффективные ресурсосберегающие технологии выплавки чугунов и силикатных материалов в низкошахтных печах. Работа выполнена с привлечением **современных методов** теоретических и экспериментальных исследований процессов плавки в низкошахтных печах. Поставленные задачи содержат все необходимые этапы научного исследования от формулирования общих идей до успешного практического применения разработок, что свидетельствует о достижении целей исследования и законченном характере работы.

Достоверность и обоснованность полученных результатов, выводов и рекомендаций основывается на: совместном использовании современных методов теоретического анализа и экспериментального исследования процессов теплообмена, горения, газообразования, механики движения материалов, протекающих в низкошахтных печах; сочетании воспроизводимых по точности методов физического и математического моделирования, качества измерений и статистической обработки результатов; применении апробированных методов исследований; сопоставлении полученных результатов с данными других исследователей; высокой эффективности предложенных технологических решений, подтвержденных результатами промышленных испытаний и внедрением в производство.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, приложений. Изложена на 312 страницах, содержит 54 рисунка, 41 таблицу, список литературы из 312 наименований.

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, изложена научная новизна и практическая значимость работы, а также приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертантом проведен анализ современного уровня теории тепловой работы, конструкций и особенностей технологии плавки чугуна и силикатных материалов в низкошахтных печах. Развитие конструкций низкошахтных печей реализуется в направлении увеличения производительности, интенсификации процесса плавки и повышения их эффективности. Показано, что одним из основных направлений ресурсосбережения является поиск заменителей кокса для низкошахтных печей, переход на более дешевое и распространенное природное топливо, в частности антрацит, тощие угли и пылеугольное топливо. На основе проведенного обзора литературы и анализа современного состояния вопроса сформулированы цели, задачи и направления исследования. Аналитический об-

зор подтверждает высокую квалификацию и эрудированность диссертанта в области современного представления тепловой работы низкошахтных печей, умение критически анализировать и систематизировать сведения и данные по исследуемой проблеме.

Во второй главе проведено теоретическое исследование особенностей физического моделирования теплообменных и газодинамических процессов в низкошахтных печах. Установлено, что геометрическое подобие выполняется четким соотношением между высотными параметрами печи и ее внутренним диаметром. Проведен анализ сил, действующих на коксовую или угольную топливную насадку в низкошахтных печах при замене кокса на антрацит и тощие угли. Решена проблема определения стойкости топливной насадки под влиянием давления вышележащих слоев шихты на основе решения задачи анализа сил, действующих на столб шихты в период плавки. Полученные данные позволяют предварительно по размеру и форме кусков шихты прогнозировать ее поведение в процессе шахтной плавки. Сделан вывод о том, что при переходе на антрацит и тощие угли для увеличения силы трения шихты о стенки печи необходимо уменьшать размер кусков в шихте до минимальных размеров 70-80 мм, потому что при этом резко снижается угол зацепления и угол внутреннего трения и, как следствие, увеличивается коэффициент бокового давления на стенки шахты. При переходе от кокса на антрацит или тощие угли на неподготовленной шихте высоту печи необходимо уменьшить от $H_{\text{н}} = 4,345\sqrt{D}$ до $H_{\text{н}} = 3,249\sqrt{D}$. В диссертации получены соотношения для определения геометрических параметров низкошахтных печей, необходимые при проектировании новых и модернизации действующих и выходящих за пределы нормального ряда как в меньшую, так и в большую сторону печей.

В третьей главе представлена комплексная детерминированная математической модель процесса плавки материалов в низкошахтных печах и анализ влияния теплотехнических параметров на технологический процесс плавки. В частности, было исследовано влияние подогрева, обогащения дутья кислородом и применение пылеугольного топлива на тепловую работу печи. Для разработки детерминированной математической модели уточнены известные и получены новые расчетные соотношения для определения длины кислородной зоны, температуры поверхности кусков топлива в слое топливной насадки и содержания СО в дымовых газах, уходящих из печи. Автором доказана достоверность комплексной математической модели, а ее точность признана удовлетворительной для прогнозных и инженерных расчетов. Разработаны основы технологии применения пылеугольного топлива при плавке чугуна и силикатных материалов в низкошахтных печах. Решена задача прогнозирования времени выгорания угольной частицы, а также скорости ее движения по каналам слоя кокса топливной насадки с учетом соударений угольных частиц и кусков кокса для получения максимального теплового эффекта. По результатам моделирования построены номограммы процесса шахт-

ной плавки, при концентрациях кислорода в дутье более 21 % и подогреве дутья более 27°C. Также в диссертации выявлены и математически описаны основные закономерности, возникающие при обогащении дутья кислородом.

В четвертой главе приведены результаты НИОКР по созданию исследовательского полупромышленного комплекса (ИПК) на основе низкошахтной печи. Разработанные методы расчета могут служить основой для проектирования промышленных плавильных комплексов на основе низкошахтных печей. ИПК оснащен современными средствами измерения состава газовой фазы, расходов, обеспечивающих дутьевой режим, температуры топлива и металла.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований плавки чугуна и силикатных материалов в низкошахтных печах с использованием в качестве топлива антрацита и тощих углей. Для определения оптимальных соотношений содержания различных видов топлива в топливных насадках и обеспечения устойчивой работы низкошахтных печей разработана методика аттестации топлив, основанная на определении относительной прочности топлива при горении под нагрузкой и относительной прочности, зависящей от разрушения и газификации. На основании термогравиметрического анализа установлено, что при плавке оксидных материалов использование антрацита предпочтительнее кокса, поэтому проведенные исследования являются подтверждением возможности замены кокса на антрацит в качестве топлива для низкошахтных печей. В пятой главе диссертации представлены также результаты газового анализа плавов с использованием кокса и антрацита, с подогревом и увлажнением дутья, температуры топлив в топливной насадке печи, полученные в результате экспериментов на ИПК. Данные математического моделирования достоверно отражают общую динамику изменения концентрации CO , CO_2 , O_2 по высоте топливной насадки и температуру кусков топлив.

В шестой главе представлены результаты промышленного внедрения и освоения энергоэффективных ресурсосберегающих технологий выплавки серых чугунов и силикатных материалов в низкошахтных печах при замене кокса на антрацит.

В заключении представлены основные выводы по диссертации. В приложении приведены документы, подтверждающие практическое внедрение результатов работы.

Значимость работы для науки состоит в обосновании и доказательстве на основе требований теории подобия и натурного моделирования условий физического моделирования теплообменных и аэродинамических процессов в низкошахтных печах, постоянства температурного режима в топливной насадке и в зоне нагрева шихты при условии выполнения основных соотношений между геометрическими параметрами печи. В работе заложена научная основа сбережения энергетических ресурсов путем замены кокса на антрацит и тощие угли при плав-

ке чугуна и силикатных материалов в низкошахтных печах, которая состоит в уточнении известных закономерностей, позволяющих определять высоту кислородной зоны для слоевого сжигания твердого топлива в шахтных печах с учетом коэффициента формы кусков, определять высоту топливной насадки, находить температуру поверхности кусков твердого топлива и прогнозировать температуру расплава на выходе из печи. На основе теоретических исследований и математического моделирования выявлены особенности и установлены основные закономерности процессов сжигания пылеугольного топлива в неразрыхленном плотном слое очага горения низкошахтных печей. Установлены новые закономерности влияния подогрева и увлажнения дутья на протекание основных тепломассообменных и газодинамических процессов при плавке чугуна и силикатных материалов в низкошахтных печах при использовании антрацита и тощих углей в качестве топлива. В результате математического моделирования и проведения промышленных экспериментов получены данные и обоснованы новые закономерности о влиянии обогащения дутья кислородом на температуру получаемого расплава, температуру отходящих газов и содержание в них CO_2 и CO . Установлены закономерности влияния основных технологических и теплотехнических параметров плавки в низкошахтных печах при использовании в качестве топлива антрацита и тощих углей на химический состав, литейные и механические свойства чугуна и подтверждена возможность получения продукции заданного уровня качества.

Значимость работы для производства состоит в том, что для практического использования разработаны новые способы плавки чугуна и оксидных материалов, новые конструкции рекуператоров с улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками, новый способ определения прочности твердого топлива под нагрузкой в процессе сжигания и лабораторная установка для реализации этого способа исследования прочности твердого топлива, которая позволяет воспроизвести технологические условия в период плавки в шахтной печи.

Для проведения комплексных, многофакторных исследований процессов шахтной плавки создан исследовательский полупромышленный комплекс на основе низкошахтной печи, оснащенный устройствами для подогрева дутья, воздушными средствами, контрольно-измерительной аналогово-цифровой аппаратурой.

Разработана усовершенствованная комплексная детерминированная математическая модель процесса плавки материалов в низкошахтных печах, позволяющая исследовать влияние подогрева, обогащения дутья кислородом, применения пылеугольного топлива на тепловую работу печи. На основе разработанной математической модели разработана серия номограмм процесса шахтной плавки для определения производительности печи, температуры расплава на выходе из печи,

удельного расхода дутья, расхода твердого топлива от 10 до 20% при концентрациях кислорода в дутье более 21% и подогреве дутья более 27°C.

Получены основные соотношения, зависимости и закономерности для осуществления инженерных расчетов конструктивных, технологических и теплотехнических параметров низкошахтных печей при переходе с кокса на другие виды твердого топлива. При этом замена кокса на антрацит в качестве топлива для низкошахтных печей совместно с подогревом до температур не ниже 400°C и увлажнением дутья до 10 ÷ 15% обеспечивает высокие показатели шахтной плавки (температуру расплава и производительность печи), повышение тепловой эффективности печи (экономия 12,5 кг у.т./ т чугуна и повышение КПД на 5,5%), снижение себестоимости производимой продукции за счет использования более дешевого топлива.

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований, полученных диссертантом, разработаны методы интенсификации и энергоэффективные ресурсосберегающие технологии плавки чугуна и силикатных материалов в низкошахтных печах, которые внедрены на предприятиях – ООО «Изолит-НК» (г. Новокузнецк); АО «Завод Универсал» (г. Новокузнецк); ЗАО «Гурьевский металлургический завод» (г. Гурьевск), АО «ЕВРАЗ – Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (г. Новокузнецк).

По представленной диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Необходимо было конкретизировать суть основных зависимостей для расчета конструктивных, технологических и теплотехнических параметров низкошахтных печей, при переходе на другие виды твердого топлива.
2. Не ясно как были определены оптимальные параметры вдувания пылеугольного топлива.
3. В работе не приведена методика, описывающая основные принципы работы исследовательского полупромышленного комплекса.
4. На наш взгляд, в диссертации не в полной мере проведено обоснование механизмов формирования критериального ряда прочности различных видов топлива.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации и носят рекомендательный характер. Основные положения достаточно полно отражены в журналах, сборниках трудов и материалах всероссийских и международных конференций – всего 65 печатных работ, в том числе 28 в изданиях, рекомендованных ВАК, две монографии, 14 патентов на изобретение и патентов на полезную модель, 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание работы.

Заключение по диссертационной работе

Диссертация Феокистова Андрея Владимировича является самостоятельной, завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие Российской Федерации. На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа соответствует критериям, установленным п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013г., а её автор достоин присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика.

Отзыв обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры «Теоретические основы теплотехники» с присутствием представителей кафедры «Промышленная теплоэнергетика» и кафедры «Энергетика теплотехнологий и газоснабжения» Протокол с № 6 от 02 ноября 2016 г.

Заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники»
Ивановского государственного энергетического
университета имени В.И. Ленина
Доктор технических наук, профессор



Бухмиров
Вячеслав Викторович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»
153003 г.Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34
тел. (4932) 26-97-78
e-mail: buhmirev@tot.ispu.ru
Вэбсайт: <http://ispu.ru>