

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента на диссертационную работу**

Портянкина Артёма Александровича

на тему: «Модели и алгоритмы для управления процессами электролитического получения алюминия и нагрева слябов в конвективных печах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

**1. Актуальность темы диссертационного исследования** определяется рядом обстоятельств. Во-первых, металлургические процессы на производстве достаточно энергоемкие, поэтому задачи по ведению процессов с возможно более низким расходом энергии и возможностью рекуперации теплотерь являются очень актуальными. Во-вторых, обработка и получение металлов требует строгого соблюдения температурных и химических режимов, при этом возможности непосредственного измерения технологических параметров ограничены. В настоящее время не все предприятия имеют возможность замены устаревших печей, и тогда возможности энерго- и ресурсосбережения лежат только в области улучшения систем управления. Поэтому одним из актуальных направлений совершенствования технологических процессов в металлургии является внедрение современных АСУТП печей для первичного получения металлов и их дальнейшей обработки, и в том числе, замены регулирования по отклику на упреждающее регулирование. В связи с этим требуются математические модели и алгоритмы, позволяющие в режиме реального времени прогнозировать не измеряемые или редко измеряемые параметры процесса и корректировать поведение объектов в зависимости от изменения подаваемой мощности, сырья, окружающей среды. В-третьих, в металлургических печах нагрева в условиях современных требований к качеству (стандарт ISO), необходимо строго выдерживать требования как по равномерности прогрева объема печи, так и требования к прогреву садки. При этом существующие АСУТП осуществляют ПИД-регулирование локального нагревателя по измерениям температуры воздуха возле этого нагревателя, задача поддержания нужного прогрева объема всей печи и садки в таком управлении невыполнима. Обязательным условием разработки хорошей системы управления и ее успешного внедрения является понимание разработчиками и пользователями динамических процессов, протекающих в металлургическом аппарате, его откликов на управляющие воздействия, взаимосвязей параметров конструкции с операционной деятельностью. Поэтому создание автоматизированных систем научных исследований, посвященных теплопереносу в печах, является актуальной задачей.

### **2. Общая характеристика работы**

Диссертация Портянкина А.А. представлена традиционной структурой и состоит из введения, четырех глав, выводов по каждой главе, заключения, списка литературы (141 источника, в том числе 40 на английском языке) и двух приложений.

Основная идея исследования, предложенная автором по созданию моделей и алгоритмов управления процессами электролитического получения алюминия и нагрева слябов в конвективных печах, вместе с разработкой автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) для повышения качества управления и снижения энергопотребления не вызывает возражения.

Диссертант корректно определил проблему, цель, объект и предмет исследования. Сформулированная автором проблема повышения качества управления металлургическими печами за счет разработки моделей теплообмена, фазовых переходов и алгоритмов на их основе, и вытекающие из нее задачи, задающие логику и структурирующие исследование, удовлетворяют требованиям адекватности, обоснованности, проверяемости и логической простоты.

Методы, используемые диссертантом для решения поставленных задач, включающие математическое моделирование, теорию теплопередачи, численные методы для решения уравнений в частных производных, численные и аналитические методы для решения обыкновенных дифференциальных уравнений, целесообразны и позволяют решать поставленные задачи исследования на современном научном уровне.

**3. Анализ результатов диссертационного исследования** Портянкина А.А., выносимых на защиту, позволяет определить их научную новизну, теоретическую и практическую значимость и оценить вклад диссертанта в науку.

Автор выносит на защиту следующие результаты:

– сравнительные расчеты двумя моделями теплопередачи через бортовую стенку электролизера с разными свойствами футеровки и гарнисажа показывающие, что новая модель лучше учитывает инерционность объекта, чем используемая сейчас в АСУТП электролиза на производстве;

– разработанный алгоритм для расчета температур слоев футеровки и гарнисажа позволяющий лучше оценить теплотери электролизером в окружающую среду и соответственно правильно рассчитать вольт-добавки;

– предложенную модель нагрева материалов в конвективной печи и новый алгоритм управления печью на ее основе позволяющую выдерживать заданные температурные показатели перегрева слитков;

– разработанную АСНИ, позволяющую проводить исследования тепловых откликов печей, как объектов управления, с различными конструктивными особенностями, при различных воздействиях.

По мнению диссертанта, совокупность данных результатов, в виде разработанных методов и моделей для решения задач автоматизированного управления, основанных на законах теплопереноса, позволяет использовать их для широкого круга металлургических объектов.

Действительно, полученные автором научные результаты в совокупности решают важную задачу по повышению качества управления металлургическими печами, снижения энергопотребления, уменьшения коридора управления за счет разработки моделей и алгоритмов управления процессами теплообмена в металлургических аппаратах, позволяющих рассчитывать неизменяемые или редко

измеряемые параметры и корректировать поведения объекта управления с учетом внешних и внутренних изменений.

Совокупность этих результатов можно квалифицировать как решение задачи, имеющей значение для металлургической промышленности, что соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

#### **4. Оценка новизны и достоверности**

Научная новизна заключается в следующем:

1. Предложена численная модель поведения гарнисажа в алюминиевых электролизерах, отличающаяся рассмотрением плавления гарнисажа на футеровке, условием конвективного теплообмена снаружи борта, и позволяющая рассчитывать динамическое распределение температур по сечению борта электролизера и положение фронта кристаллизации.

2. Разработан новый алгоритм для расчета температур слоев футеровки и гарнисажа на движущейся сетке, с учетом соединения слоев и определением толщины гарнисажа модифицированным методом «ловли фронта в фазовый узел».

3. Предложена новая модель нагрева материалов в печах конвективного нагрева, пригодная к использованию в алгоритмах АСУТП, позволяющая оценить скорость и равномерность нагрева слитков в зависимости от температуры и скорости нагревающего газа с учетом теплопроводности нагреваемого материала. Определены границы применимости предложенной модели.

4. Предложен новый алгоритм управления печью, основанный на расчете температуры поверхности и середины нагреваемых слябов, позволяющий достигать заданных показателей нагрева.

5. Разработана автоматизированная система научных исследований в теплотехнике, отличающаяся от существующих аналогов возможностью проведения интерактивных расчетов теплопередачи конструктивными элементами при подаче управляющих воздействий, при подборе материалов стенки; возможностью исследования нагрева материалов и фазовых переходов в печах разными численными методами.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов исследований подтверждается соответствием результатов применения классических уравнений для решения задач и предложенных математических моделей, сходимостью теоретических и экспериментальных исследований.

**5. Практическая значимость результатов** диссертационного исследования Портянкина А.А. состоит в следующем:

1. Использование разработанных виртуальных моделей для АСУТП позволит с упреждением определять параметры и переменные объектов и их поведение при подаче различных воздействий, что снижает энергозатраты на производстве, позволяет стабильно и точно выдерживать технологические режимы.

2. Численная модель поведения гарнисажа была внедрена в состав эксплуатируемого на РУСАЛе ПО «Виртуальный электролизер»; с использованием новой модели были рассчитаны управляющие воздействия для нескольких типов

электролизеров (РА-180, ОА-120, С-175, С-255). В настоящее время рассчитанные управляющие воздействия используются в автоматическом управлении заданным напряжением на опытных электролизерах РА-180 ОАО КрАЗ, при этом на этих электролизерах стандартное отклонение по температуре электролита на 2 градуса меньше, чем у «свидетелей». По сопутствующему параметру КО у опытных электролизеров СКО на 0,02 единицы меньше, чем у «свидетелей».

3. Планируемая к внедрению установка рекуперации бортовых теплопотерь сверхмощных электролизеров не сможет управляться без ущерба для технологии электролиза, если не будут использованы модели, правильно рассчитывающие теплообмен электролизера с устройством теплосбора. Поэтому в диссертации предложена схема модернизации АСУТП электролиза с использованием новой модели бортовой теплопередачи и плавления настыли в комплексном управлении.

4. Предложенный алгоритм нагрева материалов в АСУТП печи конвективного нагрева позволит ожидать нужных температурных показателей слябов на основе предварительно или интерактивно проводимых расчетов необходимой температуры греющего газа и своевременной регулировки нагревателей. Специалисты ООО «КраМЗ» подтверждают необходимость использования нового алгоритма для локальных АСУТП печей нагрева.

5. На основе автоматизированной системы научных исследований разработан программный продукт «Виртуальная лаборатория теплотехники», позволяющий проводить научные исследования поведения металлургических объектов, использовать результаты статистических и динамических решений как прогнозы для принятия правильных решений в штатных и нештатных ситуациях. Данный программный продукт внедрен в Сибирском федеральном университете в качестве автоматического обучающего комплекса.

## **6. Публикации и апробация выносимых на защиту результатов**

Все результаты исследования, выносимые на защиту, опубликованы в 14 работах. Пять из них представлены в ведущих рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Работа прошла достаточную апробацию: ее основные положения докладывались на трех международных конференциях, двух всероссийских конференциях, а также на семинарах профессора Полякова П.В. и ежегодных научных семинарах кафедры Автоматизации производственных процессов в металлургии.

Количество публикаций, полнота отражения содержания исследования в опубликованных работах соответствует требованиям п.11–13 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Анализ текста диссертации показал, что Портянкин А.А. корректно ссылается на авторов и источники заимствования материалов. Случаев некорректного заимствования материала не выявлено, что соответствует требованиям п.14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

## **7. Оценка диссертации, её завершенность в целом**

Работа выполнена на актуальную тему. Анализ диссертации и автореферата дает основание сделать вывод о том, что соискатель решил актуальную задачу в области автоматизированного управления процессами электролитического получения алюминия и термической обработки металлов в конвективных печах. Диссертационное исследование по своему содержанию соответствует требованиям научной новизны, теоретической и практической значимости. Стиль и язык диссертации соответствует заявленному жанру. Текст автореферата полностью соответствует тексту диссертации.

Новизна и достоверность работы, практическая значимость выносимых на защиту результатов, показывают самостоятельность исследования автора, свидетельствуют о личном вкладе в науку, что соответствует требованиям п.10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Несмотря на общую положительную оценку диссертационной работы Портянкина А.А., возникли некоторые вопросы и замечания дискуссионного характера:

1. Глава 4 диссертации посвящена автоматизированной системе научных исследований (АСНИ) для решения задач теплотехники. Возникают сомнения о целесообразности отнесения предлагаемого программного обеспечения к данному виду автоматизированных систем. Возможно это программное обеспечение реализующее математическую модель, с доработкой – экспертная система. Возможно, это элемент АСНИ задач теплотехники при четкой постановке задачи формирования системы, как совокупности технического (в т.ч. измерительная система, экспериментальная установка), метрологического, научно-методического и др. обеспечения.

2. В параграфе 2.8 в описании математических моделей указано, что они не учитывают изменение химического состава при расплавлении или кристаллизации, не учитывают ликвационные явления. При этом допустимость такой аппроксимации не обосновывается.

3. Вызывает вопрос логика построения работы, когда каждую главу предваряет дополнительный литературный обзор. Это снижает качество самого литературного обзора, положенного в основу формулирования цели и задач работы.

4. В параграфе 3.3 разработанная модель реализуется методом конечных разностей. Однако, в работе представлено только аналитическое решение (без численного). Интересно было бы увидеть анализ устойчивости, сходимости модели.

5. Не обоснована приемлемая точность расчета толщины тонкого слоя ( $\epsilon$ ).

Вышеприведенные вопросы и замечания, в целом, не влияют на положительную оценку исследования и не снижают качества работы.

Диссертационное исследование является самостоятельным, оригинальным, имеет значение для дальнейшего развития технологий получения алюминия и термической обработки металлов.

Таким образом, анализ диссертационного исследования Портянкина А.А. «Модели и алгоритмы для управления процессами электролитического получения алюминия и нагрева слябов в конвективных печах» позволяет сделать заключение о его соответствии паспорту специальности 05.13.06. Оно обладает необходимыми характеристиками научной новизны, самостоятельности и завершенности и соответствует п. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней № 842 от 24 сентября 2013 г. с изменениями, внесенными постановлением Правительства РФ от 28.08.2017 г. № 1024 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а его автор – Артём Александрович Портянкин – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

Отзыв составлен:

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО  
«Иркутский государственный университет  
путей сообщения»,  
д.т.н., доцент

Лившиц Александр Валерьевич

664074, Сибирский федеральный округ,  
Иркутская область, г. Иркутск,  
ул. Чернышевского, д. 15  
тел.: 8-950-08-22-11-2  
e-mail: livnet@list.ru



Подпись _____
<b>ЗАВЕРЯЮ:</b>
Начальник общего отдела ИРГУПС
Подпись _____
« 24 » 09 2018 г.