

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Портянкина Артёма Александровича «Модели и алгоритмы для управления процессами электролитического получения алюминия и нагрева слабов в конвективных печах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»

Актуальность темы

Процесс получения алюминия сырца продолжает оставаться очень энергоемким. При этом половина подведенной мощности теряется в виде тепла в окружающую среду. Поэтому ведение этого процесса с возможно более низким расходом энергии и возможность рекуперации теплотерь являются очень актуальными. Энергоемкость обработки алюминия также высока, гомогенизация и нагрев слитков перед прокаткой требует от 580 кВт/час на тонну на старых печах до 220 кВт/час на тонну на лучших зарубежных образцах. Обработка и получение металлов зачастую требует строгого соблюдения температурных и химических режимов, при этом возможности непосредственного измерения технологических параметров ограничены. Повышение температуры расплава при получении алюминия на 10°C ведет к снижению производительности электролизера на 2%, не считая увеличения теплотерь в окружающую среду и дополнительного износа конструкции. При этом 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 алгоритмах автоматизации в основном используются стохастические, вероятностные модели. Но для энергосбережения нужно использовать больше моделей, основанных на законах теплообмена. Эти модели должны быть быстродействующие и поэтому при их разработке следует проводить постоянное сравнение с расчетами более сложных моделей, с экспериментальными данными.

Для разработки алгоритмов управления тепловым балансом в алюминиевом электролизере большую роль играет понимание теплообмена футеровки электролизера с расплавами и окружающей средой с учетом фазового перехода застывшего расплава.

В металлургических печах нагрева в условиях современных требований к качеству (стандарт ISO), для возможности поставки российского проката на предприятия авиастроения, необходимо жестко 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.

Таким образом модели и алгоритмы для управления процессами электролитического получения алюминия и нагрева слябов в конвективных печах являются актуальной научно-технической задачей **и актуальность избранной диссертантом темы не вызывает сомнений.**

Основные результаты опубликованы в 14 работах (включая 5 работ в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК). Диссертация содержит 160 страниц основного текста и включает список литературы из 141 наименований.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов и рекомендаций. **Первая глава** посвящена автором обзору методологии алгоритмизации металлургических объектов для задач АСУТП, математических методов описания различных способов передачи тепла и решения задач с фазовыми переходами, а также обзору различных программных продуктов для моделирования теплообменных процессов.

Во **второй главе** автор представлены способы управления тепловым балансом алюминиевого электролизера, рассмотрен новый метод энергосбережения, заключающийся в сборе бортовых теплопотерь теплообменником, разработаны модели и разностные схемы, пригодные для использования в АСУТП для управления тепловым балансом и стабилизации формы рабочего пространства.

В главе проводилось сравнение расчетов нульмерной модели теплопередачи через бортовую футеровку, которая используется в алгоритмах управления компании РУСАЛ и новой одномерной модели теплопередачи через борт и поведения гарнисажа.

Для повышения точности определения изменений толщины гарнисажа и распределения температур по сечению стенки автором разработана и реализована одномерная модель.

Предложенная модель математически обоснована и достоверна. Согласно полученной модели автором предложен и реализован алгоритм для определения динамических изменений толщины застывшего слоя и температурного распределения в слоях. **Обоснованность результатов, полученных автором, основывается на согласованности данных эксперимента и научных выводов.**

В **третьей главе** автором представлена упрощенная модель и алгоритм нагрева материалов в печи скоростного конвективного нагрева. Модель построена на обыкновенных дифференциальных уравнениях и позволяет при работе в составе АСУТП рассчитывать скорости и режимы нагревов, оценивать равномерности нагревов слитков для предоставления этих данных оператору, либо для автоматического принятия решения об изменении подводимой мощности или изменении времени нагрева. Для тестирования и определения границ применения, расчеты по разработанной модели в обыкновенных дифференциальных уравнениях сравнивались с расчетами по эталонной модели Арутюнова В.А., Бухмирова В.В., Крупенникова С.А. Рассматривался нагрев материалов с высокой и низкой теплопроводностью. По разработанным компьютерным программам проведена серия расчетов и выполнен сравнительный анализ полученных результатов. Алгоритм может параллельно рассчитывать прогрев тела в разных точках и управлять температурой каждой зоны отдельно, но обеспечивая при этом равномерность температурного поля по всему объему садки.

Четвертая глава автором посвящена разработке и внедрению автоматизированной научно-исследовательской системы для использования в исследовательских задачах теплотехники и управления.

Представленный автором программный комплекс опробован в процессе обучения бакалавров и магистрантов института цветных металлов и материаловедения СФУ по направлениям «Металлургия», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Управление в технических системах».

Достоверность предложенных автором технических решений и эффективность управления подтверждена результатами технических испытаний, проведенных на ООО «Красноярский металлургический завод», ФГАОУВО «Сибирский федеральный университет» и документально подтверждены в «Приложении» в настоящей работе.

Оценка новизны и достоверности.

В качестве наиболее существенных научных результатов следует отметить следующие положения:

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.

Практическая значимость работы.

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.

Численная модель поведения гарнисажа разрабатывалась в рамках договора «Разработка связанного алгоритма стабилизации состава электролита и управления тепловым балансом для энергоэффективных электролизеров» с ООО «РУСАЛ ИТЦ» в 2016 году. В рамках проведения договорных научно-технических работ в 2017 году по теме «Разработка программного обеспечения и алгоритмов для оптимального управления энергоэффективными электролизерами» предлагаемая численная модель была внедрена в состав 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 КОу опытных электролизеров СКО на 0,02 единицы меньше, чем у «свидетелей».

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.

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.

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.

На основании выше изложенного можно сделать вывод о том, что **полученные в диссертации результаты обладают научной новизной и практической значимостью.**

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Замечания

По диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. В автореферате имеет место расхождение выводов по результатам работы с указанными в диссертации. Цифровые показатели качества в диссертации отсутствуют.
2. В главе 1 не просматривается связь поставленной цели диссертации с представленным информационно-аналитическим обзором.
3. В главе 2 блок-схемы алгоритмов представлены в обобщенной форме без пояснений содержания блоков.
4. В главе 3 предложены структурные схемы разработанных систем, при этом нет ни одной функциональной схемы.
5. В главе 4 представленная автоматизированная система научных исследований использует разработанные автором математические модели. В работе нет сведений об адекватности моделей относительно исследуемого процесса.

Приведенные замечания в целом не снижают ценность полученных результатов и общей положительной оценки о выполненной диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. Текст диссертации изложен в хорошем научном стиле. Работа обладает актуальностью, результаты работы обладают научной новизной и практической значимостью, результаты и выводы обоснованы и достоверны.

В диссертации приведены новые научные результаты, позволяющие их квалифицировать как решение научной задачи по разработке моделей и алгоритмов для управления процессами электролитического получения алюминия и нагрева слябов в конвективных печах.

Диссертационная работа отвечает требованиям п.9 положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Портянкин Артём Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

ФГБОУ ВО «Сибирский
государственный аэрокосмический
университет имени академика М.Ф.
Решетнёва»,
г. Красноярск
660014, г. Красноярск, пр. им. газеты
«Красноярский рабочий», 31
тел.: (391) 291-92-40
E-mail: ius_ceregin@sibsau.ru

доцент кафедры «Информационно-
управляющих систем»
кандидат технических наук, доцент

Серегин Юрий Николаевич

01.10.2018

Подпись Ю.Н. Серегина заверяю: *выдавший специализированный*

