

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Ректор ФГБОУ ВО
«Иркутский национальный
исследовательский технический
университет»,
Корняков Михаил Викторович



«10» сентября 2018 г.

664074 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 83
телефон: +7 (3952)405-000, факс: +7 (3952)405-
100
e-mail: info@istu.edu

№ _____
на № _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Портянкина Артёма Александровича

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

Актуальность исследований. Одно из ведущих мест в экономике России занимает алюминиевая промышленность. Производство алюминия является одним из самых энергоемких процессов (от 12500 кВт·ч/т до 17000 кВт·ч/т), поэтому возможность снижения расхода электроэнергии и рекуперации теплотерь являются очень актуальными. Энергоемкость обработки алюминия также высока, при этом обработка и получение металлов зачастую требует строгого соблюдения температурных и химических режимов, при ограниченной возможности непосредственного измерения технологических параметров. Например, угар металла при неправильном нагреве ведет к его прямым потерям до 2%, не считая убытков при прокатке от окалины на поверхности слитков. 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 невозможности замены устаревшего технологического оборудования возможности улучшения процесса лежат только в области повышения качества управления. Безусловно и то, что реализация

принципиально новых технологических решений в области электролитического получения алюминия зачастую также невозможна без автоматизированного 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. Разработка новых алгоритмов управления, построенных на понимании и моделировании этих сложных технологических процессов является перспективным направлением, которое может дать значительный эффект при малых затратах.

В представленной диссертационной работе рассматриваются вопросы моделирования и разработки алгоритмов для управления металлургическими печами, а также вопросы создания автоматизированных исследовательских систем в металлургической теплотехнике. Автор уделяет особое внимание моделированию процессов теплопотерь в окружающую среду алюминиевым электролизером, расчету толщины теплоизолирующего гарнисажа для правильного определения управляющих воздействий в энергобалансе электролизера; рассматривает равномерность и длительность прогрева материалов в конвективных печах; разрабатывает новые алгоритмы на основе моделирования, а также реализует модели в системе научных исследований. Таким образом, тема диссертационного исследования является актуальной.

Структура и обзор работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 141 наименование; содержит 145 страниц машинописного текста, 45 рисунков, 18 таблиц и 2 приложения.

Для выполнения поставленной цели диссертации автору необходимо было разработать математические модели процессов электролиза и термической обработки металлов, установить их адекватность, разработать управляющие алгоритмы и программу – имитатор процесса с возможностью проведения исследований, и внедрить новые алгоритмы управления в производство, показав при этом повышение эффективности управления. Портянкин А.А., определяя степень разработанности проблемы, провел глубокую аналитическую работу на достаточной базе научных источников (всего 141, в том числе 40 иностранных), сделан достаточно полный литературный обзор работ по данной тематике.

В первой главе проводится обзор методологии алгоритмизации металлургических объектов для задач АСУТП, математических методов описания различных способов передачи тепла и решения задач с фазовыми переходами, а также обзор различных программных продуктов для моделирования теплообменных процессов.

Во второй главе 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 уже используется в алгоритмах управления компании РУСАЛ и новой одномерной модели теплопередачи через борт и поведения гарнисажа. Представлены блок-схемы нового расчетного алгоритма температур слоев футеровки и определением толщины гарнисажа.

В третьей главе представлена новая 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, основанной на нестационарном уравнении теплопроводности. Представлен новый алгоритм управления нагревом материалов в печи, осуществляющий управление именно температурой металла, а не температурой газовоздушной среды.

Четвертая глава посвящена разработке и внедрению автоматизированной научно-исследовательской системы для использования в исследовательских задачах теплотехники и управления. Представлена структура программного комплекса, рассмотрены примеры страниц интерфейса, применение комплекса для различных теплотехнических расчетов.

Основные научные результаты работы состоят в следующем:

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.

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».

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.

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

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.

Значение для науки и практики результатов диссертационной работы состоит в достижении цели работы, заключающейся в повышении качества управления металлургическими печами за счет разработки моделей теплообмена, фазовых переходов и алгоритмов на их основе для АСУТП.

Теоретическая значимость исследования состоит в разработанных методах и моделях для решения задач автоматизированного управления, основанных на законах тепломассопереноса, что позволяет использовать их для широкого круга

металлургических объектов. Систематизирована методика моделирования теплотехнического объекта для использования в алгоритмах АСУТП, заключающаяся в схематизации и разбиении сложного объекта исследования на различные зоны, выделения объединяющего элемента в этом разложении в зависимости от задачи управления. Разработана новая разностная схема на движущейся сетке для решения одномерной задачи на многослойной стенке с учетом фазового перехода, что вносит вклад в методики расчетов динамических тепловых балансов металлургических печей и может быть использовано в задачах литья и обработки металлов с фазовыми переходами.

Практическая значимость результатов исследования Портянкина А.А. заключается 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 разрабатывалась и внедрялась в рамках договоров с ООО «РУСАЛ ИТЦ» в 2016-2017гг. Эта модель была внедрена в состав ПО «Виртуальный электролизер»; с использованием новой модели были рассчитаны управляющие воздействия для нескольких типов электролизеров РУСАЛа (РА-180, ОА-120, С-175, С-255). В настоящее время рассчитанные управляющие воздействия используются в автоматическом управлении заданным напряжением на опытных электролизерах ОАО КрАЗ, при в акте использования, прилагаемом к диссертации, указано о улучшении качества управления температурой электролита на этих электролизерах.

3. 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.

4. 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.

Рекомендации по использованию результатов диссертации:

Считаем, что управляющие воздействия напряжением для алюминиевых электролизеров должны рассчитываться с использованием предложенных уточненных моделей теплообмена и использоваться в том числе для электролизеров ОА-300 Иркутского алюминиевого завода. Количество электролизеров, использующих новые правила управления заданным напряжением, может быть расширено на Красноярском алюминиевом заводе.

Разработанная автором автоматизированная система научных исследований в теплотехнике и программный продукт «Виртуальная лаборатория теплотехники» могут быть использованы в Высших учебных заведениях, реализующих программы подготовки магистров и бакалавров по направлениям «Металлургия» и «Автоматизация производственных процессов».

Достоверность научных результатов подтверждена: корректным использованием математических методов и законов электрохимических и тепловых процессов в металлургических аппаратах; согласованием результатов расчетов на разработанных моделях и расчетах на эталонных моделях; соответствием результатов моделирования технологических операций экспертным оценками технологов.

Публикации. Соискателем по тематике работы опубликовано 14 работ, из них 5 работ в журналах рекомендованных ВАК РФ, 1 свидетельство на программное обеспечение. Результаты автора были представлены широкому кругу ученых на различных конференциях.

Замечания. При анализе диссертационной работы были выявлены недостатки, которые сформулированы нами в следующем:

1. Название первой главы предполагает обзор существующих энергосберегающих алгоритмов управления печами, при этом такого обзора в этой главе нет, частично он есть только по управлению электролизерами в главе 2.
2. Следовало бы выполнить расчеты теплообмена с возможной установкой на борту электролизера системы теплосбора.
3. Алгоритм стабилизации гарнисажа на рис 2.17 выглядит недоработанным для его реализации.
4. В п. 2.8. сказано, что новая модель используется для расчета управляющих воздействий. На рисунке 2.13 представлены расчетные вольт-добавки для электролизера С-175ЭС. Иными словами она делает только расчет управляющего воздействия, как рекомендация оператору? Не ясно можно ли разработанные модели использовать при управлении в реальных системах ,в реальном масштабе времени.
5. На рисунке 2.13 нет подписей к данным, что отложено по осям.
6. Рисунок 3.7а график температуры воздуха в печи – чем вызван резкий перелом характеристики, каким образом достигнута резкая стабилизация температуры? В тексте нет этому объяснения.
7. На рисунке 3.8 представлен алгоритм управления нагревом материала в печи. Судя по алгоритму, вы предлагаете двухпозиционный регулятор. Хотелось бы получить ответ, достаточно ли будет при использовании такого закона регулирования получить требуемое качество поддержания заданной температуры, зная что Т объекта велико и инерционность будет иметь место? При этом на рисунке 3.9 вы приводите в качестве исполнительного элемента твердотельное реле, которое может выступать в роли аналогового регулятора.
8. Также в п. 3.4 вы предлагаете управления печью на основе модели нагрева, при этом в алгоритме отсутствует корректировка модели или управляющего воздействия по реальному показателю датчиков температуры, иными словами отсутствует корректировка по обратной связи.

