

*На правах рукописи*

**НИКОЛАЕВ Александр Николаевич**



**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕРАБОТКИ  
НИКЕЛЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ  
МЕТОДОВ АНАЛИЗА**

*Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление  
технологическими процессами и  
производствами (металлургия)*

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Санкт-Петербург – 2017**

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

*Научный руководитель:*

доктор технических наук, профессор

*Шариков Юрий Васильевич*

*Официальные оппоненты:*

*Русинов Леон Абрамович*

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», кафедра автоматизации процессов химической промышленности, заведующий кафедрой

*Воловиков Артем Юрьевич*

кандидат технических наук, компания «ARSKA Technologies», технический директор

*Ведущая организация:* ФГУП «Российский Научный Центр «Прикладная Химия»

Защита диссертации состоится 27 июня 2017 г. в 14 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.03 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 26 апреля 2017 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



БРИЧКИН  
Вячеслав Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В настоящее время существует ряд предложений и методов, позволяющих повышать качество процессов переработки никелевых концентратов, а также увеличивать экономический эффект производственных предприятий.

Для разработки данных методов и для обоснования своих выводов по тем или иным процессам в объекте разработчикам необходимо его моделирование. Часто созданные модели не имеют требуемой степени адекватности, это связано с наличием малоизученных взаимосвязей переменных объекта.

Многосложные и распределенные системы подвергаются неконтролируемым возмущениям, такие возмущения остаются индивидуальными для каждого объекта, а значит не могут быть определены с помощью обобщенных динамических моделей. В таких случаях появляется необходимость создания модели, основанной на правилах нечеткой логики и обработанных статистических данных, полученных на функционирующих объектах.

Математическая модель такого типа позволяет разработчику получить правильный отклик целевой величины при изменении управляющих воздействий. Модель, основанная на производственных данных и на знаниях инженера-технолога, практически полностью повторяет реальный объект, следовательно, получить разрешение на внедрение созданных на ее основе систем автоматизации становится значительно проще.

Архивные данные хранятся на всех основных производствах страны, но их обработка стандартными средствами статистического анализа ведет к значительным временным затратам, а также ошибкам, которые в дальнейшем влияют на полученную регрессионную модель. Решение задачи оптимизации процесса статистической обработки и повышение ее качества является актуальным в настоящее время, так как своевременная и правильная оценка протекания процесса позволит сократить материальные затраты на устранение возможных отклонений качественных показателей выходного продукта от нормы.

Исследование и статистическая обработка производились на примере следующих объектов: передел сгущения медно-никелевого концентрата; печь взвешенной плавки для никелевого концентрата; печь кипящего слоя для обжига никелевого концентрата.

**Цель диссертационной работы.** Повышение эффективности управления сложными металлургическими объектами за счет применения регулирования на основе статистических моделей и нечетких множеств.

**Основные задачи исследования:**

1. Выявление факторов, влияющих на процесс плавки никелевого концентрата;
2. Анализ зависимости содержания никеля в концентрате от значения плотности выходного продукта передела сгущения;
3. Анализ влияния загрузки и разгрузки пульпы в сгуститель на выходную плотность сгущения медно-никелевого концентрата;
4. Разработка алгоритма по оптимизации процесса сгущения медно-никелевого концентрата;
5. Разработка программного тренажера, имитирующего работу сгустителя, в нормальном и аварийном режимах;
6. Анализ влияния входных переменных печи кипящего слоя на качество получаемого огарка;
7. Разработка прогнозирующих систем управления для процессов переработки никелевых концентратов.

**Методология и методы исследования.** В работе были использованы статистические методы исследования производственных данных посредством программных продуктов GE Proficy CSense и RTD. Реализация модели процесса сгущения, а также автоматизированной системы управления, проводилась в среде MATLAB (Simulink) и в программных продуктах GE Proficy Troubleshooter, GE Proficy Architect. Для создания программного продукта по стабилизации процесса сгущения использовался пакет Microsoft Visual Studio 2008.

Для моделирования процесса обжига никелевого концентрата в печи кипящего слоя, а также для синтеза автоматизированной сис-

темы управления, использовались программные продукты GE Proficy Troubleshooter и GE Proficy Architect.

Моделирование процесса переработки никелевого концентрата в печи взвешенной плавки проводилось в программных продуктах ReactOP и GE Proficy CSense.

**Научная новизна** результатов диссертационной работы заключается в следующем:

1. Сформирован алгоритм стабилизации плотности суспензии посредством управления загрузкой и разгрузкой сгустителей с учетом действующих возмущений, таких как: неконтролируемый слив, подача реагентов;
2. Разработан алгоритм работы программного продукта по имитации работы сгустителя (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614355);
3. Установлен характер зависимости между расходом концентрата в печь кипящего слоя и температурой потока огарка из этой печи;
4. На основании установленной зависимости между расходом дутья в печь взвешенной плавки и содержанием сульфидов никеля в штейне, предложено для управления процессом переработки никелевого концентрата использовать регулятор с прогнозирующей статистической моделью и набором правил нечеткой логики.

**Практическая значимость работы:**

1. Создан программный продукт, позволяющий стабилизировать процесс сгущения медно-никелевого концентрата;
2. Разработана система автоматизации процесса сгущения медно-никелевого концентрата;
3. Установлено влияние расхода концентрата в печь кипящего слоя на температуру огарка, подаваемого в трубчатую вращающуюся печь;
4. Выполнена разработка автоматизированной системы управления процессом обжига никелевого концентрата в печи кипящего слоя;

5. Синтезирована система управления процессом плавки никелевого концентрата, основанная на правилах нечеткой логики и обработке статистических данных;
6. Разработана программа специализированного тренажера для имитации работы сгустителя в условиях действия реальных возмущений (получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614355).

**Достоверность научных результатов.** Результаты работы разработанных моделей сопоставлены с архивными данными процессов сгущения медно-никелевого концентрата и переработки никелевых концентратов, и имеют высокий уровень сходимости с ними. Тестирование систем управления процессами также проходило на основе производственных данных.

**Апробация работы:**

1. Международная научная конференция «Проблемы недропользования», Горный Университет, Санкт-Петербург, 2016;
2. Ежегодная международная конференция во Фрайберге, Фрайбергская Горная Академия, Фрайберг, 2015;
3. На разработанный программный тренажер по работе сгустителя получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614355.

**Личный вклад автора** состоит в анализе применяемых технологий статистической обработки производственных данных, проведении заводских и экспериментальных исследований, создании статистических моделей изучаемых процессов, а также разработке систем автоматизации для этих процессов.

**Публикации.** Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 5-ти печатных работах, из них 3 входят в перечень рекомендованный ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 193 страницы машинописного текста, 99 рисунков, 10 таблиц и список литературы из 115 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*В первой главе* рассмотрены основные методы статистической обработки производственных данных, определены их достоинства и недостатки.

*Во второй главе* приведено описание процесса сгущения медно-никелевого концентрата, разработаны статистические модели (динамическая и статическая). Проведено их сравнение и оценка. Представлено описание алгоритма управления процессом сгущения посредством загрузки и разгрузки пульпы в сгустители и описание автоматизированной системы управления этим процессом.

*В третьей главе* представлено описание разработанных программных продуктов.

*В четвертой главе* приведено описание процесса обжига никелевого концентрата, определены влияющие на процесс факторы и создана статистическая модель. Также в данной главе предоставлено описание автоматизированной системы управления процессом.

*В пятой главе* приведено описание процесса переработки никелевого концентрата в печи взвешенной плавки, разработана математическая модель в среде ReactOP, с помощью GE Proficy Troubleshooter разработана система управления на основе прогнозирующего регулятора.

*Заключение* содержит в себе основные выводы, сделанные в ходе выполнения диссертационной работы.

## ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**1. Автоматизированная система параллельного управления загрузкой и разгрузкой сгустителей позволяет уменьшить колебания средней плотности медно-никелевого концентрата передела сгущения до  $0,05 \text{ т/м}^3$ .**

Автоматизированная система параллельного управления загрузкой и разгрузкой сгустителей основана на алгоритме, способном автоматически регулировать плотность медно-никелевого концентрата передела сгущения посредством клапанов на загрузке и насосов на разгрузке каждого из сгустителей. Система представляет собой совокупность четырех двухконтурных систем управления сгу-

стителами и одноконтурной системы управления пульподелительной коробкой. Основная цель работы автоматизированной системы - стабилизация плотности пульпы на выходе передела сгущения и поддержание ее на значении равном  $1,5 \text{ т/м}^3$ .

Для управления КИПиА был выбран программируемый логический контроллер PAC System Rx3i, для отображения информации о ходе процесса сгущения выбрана SCADA система Proficy Simplicity от GE.

Автоматизированная система выполняет следующие функции:

1. Стабилизация уровня в пульподелительной коробке;
2. Управление общим объемом разгрузки сгустителей;
3. Управление общей плотностью разгрузки сгустителей.

Функция стабилизации уровня в пульподелительной коробке позволяет посредством автоматического изменения положения клапанов на загрузке сгустителей поддерживать заданное значение уровня в соответствии с уставкой. Также, с помощью данной функции выполняется автоматическое выравнивание плотностей разгрузки сгустителей, при этом загрузка происходит пропорционально значению выходной плотности. Чем больше плотность, тем меньше загрузка и наоборот.

Функция управления общим объемом разгрузки сгустителей позволяет посредством автоматического изменения частоты работы электродвигателей насосов на разгрузке поддерживать заданное значение объемного расхода пульпы в соответствии с уставкой. При этом разгрузка для каждого контура происходит пропорционально плотности сгущенного продукта. Чем больше плотность, тем больше разгрузка и наоборот.

Функция управления общей плотностью передела сгущения позволяет регулировать значение плотности с помощью изменения уставки общего объемного расхода.

Разработка и отладка алгоритма работы системы проводилась в среде MATLAB (Simulink).

На рисунке 1 показано изменение плотностей каждого сгустителя во времени при использовании функции распределения загрузки. В ходе работы функции учитывалось возмущение по подаче реагента. Своего равновесия система достигла на отметке 2400 секунд.

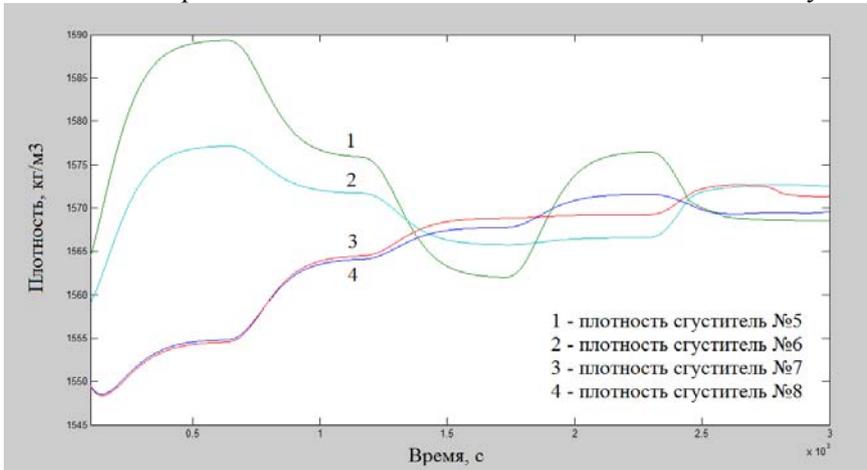


Рисунок 1 – Функция распределения загрузки

На рисунке 2 показана работа функции стабилизации плотности.

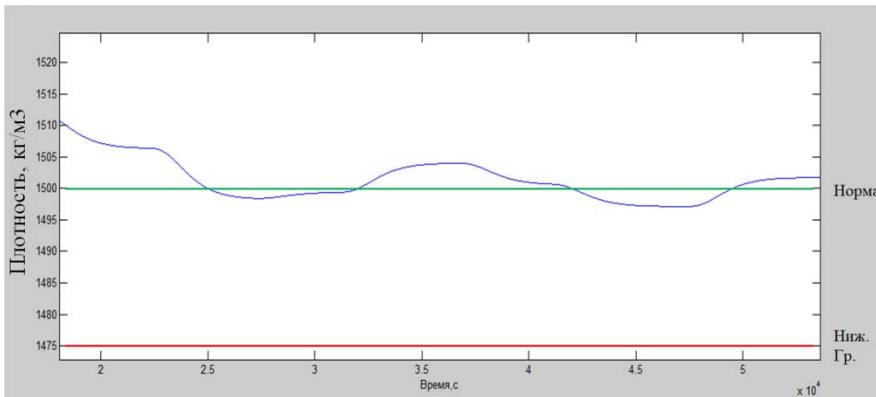


Рисунок 2 – Функция распределения разгрузки. Стабилизация плотности

На рисунке 3 представлено сравнение результатов работы системы управления с архивными данными, полученными на предприятии.

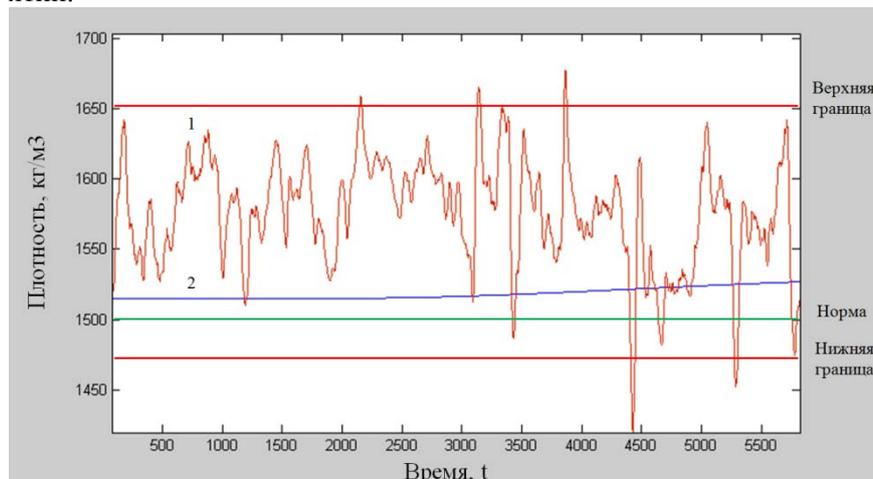


Рисунок 3 – Сравнение результатов работы системы и производственных данных по плотности (1-архивные данные плотности, 2-плотность, при работе системы автоматизации)

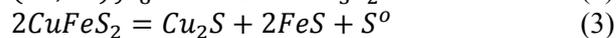
Рисунок 3, отображающий результаты работы автоматизированной системы параллельного управления загрузкой и разгрузкой, показывает значительное уменьшение (до  $0,05 \text{ т/м}^3$ ) колебаний выходной плотности медно – никелевого концентрата, что позволяет в дальнейшем получать концентрат со стабильным и высоким (до 9%) содержанием никеля. Для адекватной работы системы требуется стабилизация подачи реагента в сгустители.

**2. Для прогнозирования параметров расхода дутья при взвешенной плавке никелевого концентрата следует использовать регулятор, основанный на статистической модели и дополненный экспертными правилами нечеткой логики.**

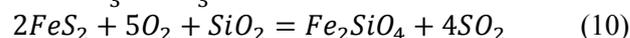
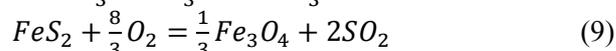
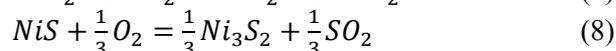
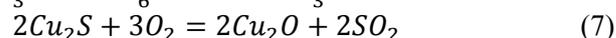
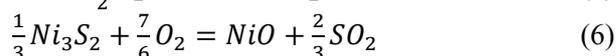
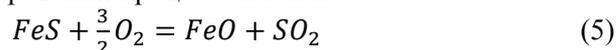
Моделирование процесса взвешенной плавки сульфидных никелевых концентратов ( $\text{Ni} \sim 9\%$ ,  $\text{Cu} \sim 4,6\%$ ) выполнено в программном пакете ReactOp, позволяющем на основе протекающих в шахте печи реакций диссоциации высших сульфидов и окисления

низших сульфидов выполнять расчеты поведения объекта. С помощью данной модели были получены статистические данные по расходу шихты, расходу дутья, расходу песчаника, концентрации сульфидов и оксидов металлов.

Реакции диссоциации высших сульфидов, используемые при моделировании процесса плавки:



Реакции окисления низших сульфидов, используемые при моделировании процесса плавки



Основная цель процесса взвешенной плавки – это переработка сульфидного концентрата на штейн и шлак с определенной долей извлечения металлов. Вследствие этого, для регулирования процесса выбран контур управления концентрацией дисульфида триникеля в штейне посредством поддержания соотношений «расход шихты – расход дутья» и «расход шихты – расход песчаника».

Поддержание оптимального соотношения «расход шихты – расход дутья» позволяет получать высокое содержание никеля в штейне, а также избегать переокисления шлака

Для управления процессом взвешенной плавки использовался программный продукт Proficy CSense, позволяющий синтезировать систему прогнозирующего управления, основанную на статистической модели и базе нечетких правил. С помощью компонента Proficy Troubleshooter получена модель плавки, на основе которой разрабо-

тан прогнозирующий регулятор, функционирующий в компоненте Proficy Architect.

В Proficy Architect сгенерированы три модели (рисунок 4), каждая из которых имеет собственную целевую функцию (1 – концентрация  $Ni_3S_2$ , 2 – соотношение «расход шихты – расход дутья», 3 – соотношение «расход шихты – расход песчаника»).

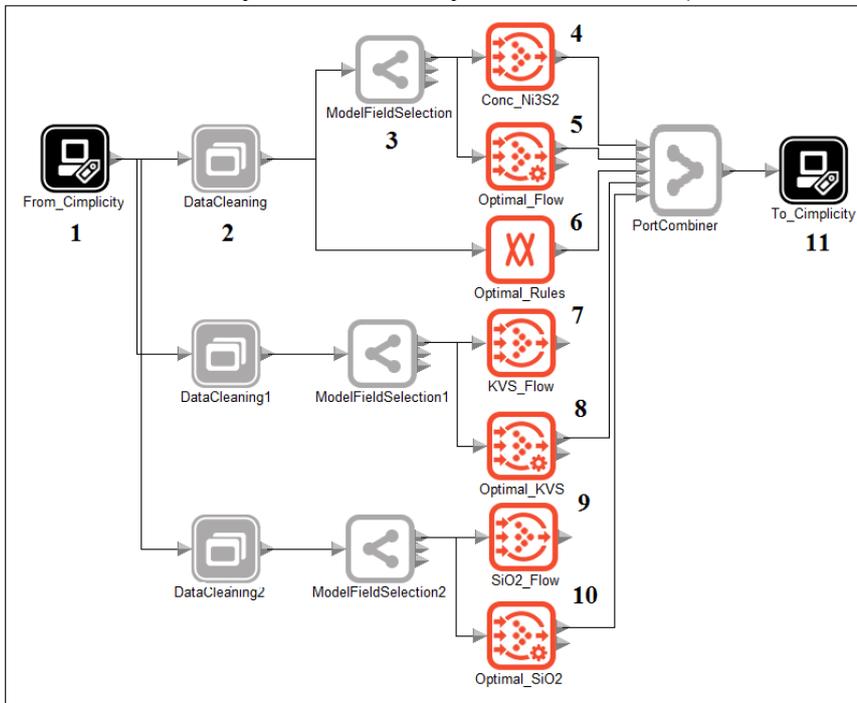


Рисунок 4 – Оптимизация процесса взвешенной плавки никелевого концентрата (1-получение данных OPC, 2- обработка данных, 3-распределение выходных полей для моделей, 4 – модель процесса плавки, 5 – блок оптимизации, 6 – блок базы нечетких правил, 7 – модель потока КВС, 8 – блок оптимизации потока КВС, 9 – модель потока песчаника, 10 – блок оптимизации потока песчаника, 11 – отправка данных)

Блоки оптимизаций:

1. Критерий оптимизации: 1 – модуль (Выход модели – Уставка)  $\rightarrow \min$ ; 2 – модуль (Объем\_КВС/Объем\_Концентрата – Уставка)

→ min; 3 – модуль (Расход\_песчаника/Расход\_Концентрата – Уставка) → min;

2. Управляющее воздействие: 1– Flow\_Conc (Поток концентрата в печь); 2 – Flow\_KVS (Поток КВС в печь); 3 – Flow\_SiO2 (Поток песчаника в печь).

На рисунке 5 показана работа регулятора в симуляционном режиме на основе производственных данных. Значение концентрации  $Ni_3S_2$ , соответствующее уставке, достигнуто посредством прогнозирующего регулирования расхода КВС и песчаника, при этом регулятор выдерживает заданные соотношения между расходами входных потоков, что позволяет поддерживать процентное содержание никеля в штейне без значительного перерегулирования.

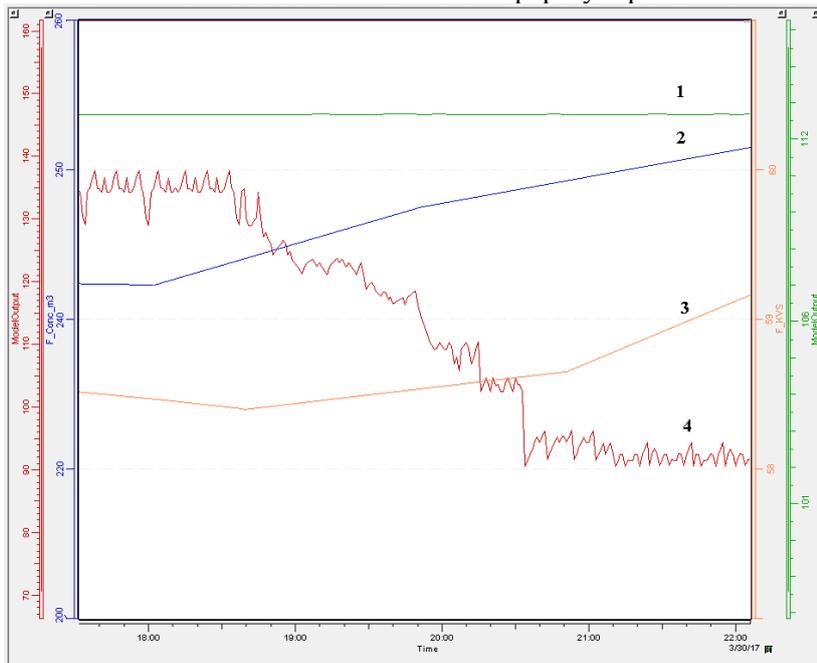


Рисунок 5 – Оптимизация процесса взвешенной плавки никелевого концентрата  
Результаты работы (1-оптимальная концентрация, кмоль/м<sup>3</sup>; 2-расход шихты т/ч; 3-  
расход КВС м<sup>3</sup>/ч; 4 – статистические данные, кмоль/м<sup>3</sup>)

**3. Использование статистического программного комплекса Proficy Csense, в качестве регулятора с прогнозирующей моделью, позволяет стабилизировать температуру газов под сводом печи кипящего слоя для полного завершения обжига тонких фракций никелевого концентрата и обеспечения температурного режима пылеулавливающего оборудования.**

Исследование процессов сгущения медно-никелевого концентрата и взвешенной плавки никелевого концентрата показало возможность применения статистических методов анализа при моделировании сложных распределенных систем в металлургии. Моделирование процесса сгущения выполнялось на основе двух методов - активный эксперимент и обработка статистических данных в Proficy CSense. Оба метода показывают высокое сходжение модели и производственных данных, однако использование GE Proficy CSense (Proficy Troubleshooter + Proficy Architect) значительно сокращает трудозатраты в процессе моделирования.

Исходя из этого, для моделирования и регулирования процесса обжига никелевого концентрата в печи кипящего слоя, был использован программный продукт Proficy CSense.

С помощью обработки производственных данных в Proficy Troubleshooter определены основные зависимости процесса обжига, а также синтезирована статистическая модель.

Моделирование проводилось относительно целевого параметра – температура под сводом печи, по значению которой ведется процесс обжига. Результаты сравнения архивных и моделируемых значений представлены на рисунке 6.

Согласно показателям сходимости модели (97 %) и наглядному визуальному сравнению результатов ее работы с архивными данными (рисунок 6), можно утверждать, что использование данной модели возможно для проведения исследования процесса обжига никелевых концентратов, а также для его дальнейшей оптимизации.

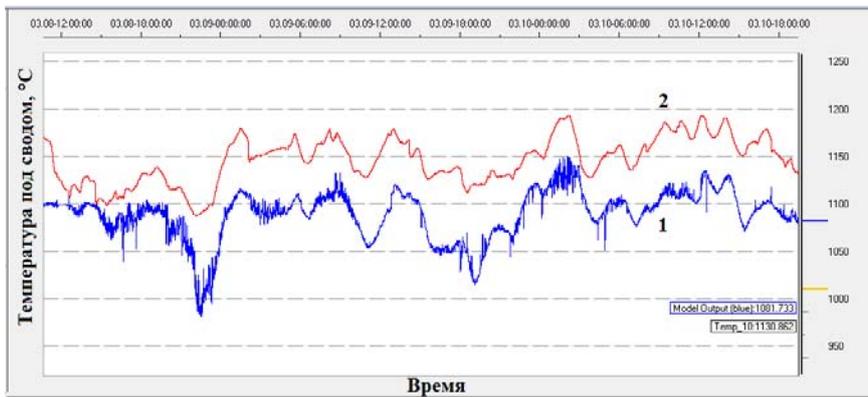


Рисунок 6 – Сравнение моделируемых результатов и производственных данных по значению температуры под сводом печи (1 – модель процесса обжига, 2 – архивные данные)

На основе статистической модели были получены следующие корреляционные зависимости основных переменных процесса:

1. температура под сводом печи и подача концентрата,  $\eta = 90,50 \%$ ;
2. температура под сводом печи и давление в подине печи,  $\eta = 97,65\%$ .

В соответствии с этими данными для управления процессом обжига никелевых концентратов выбран контур «расход концентрата – температура под сводом печи».

После обработки архивных значений и оценки влияющих факторов выполнена оптимизация обжига никелевого концентрата. Для этого в Proficy Architect к существующей модели добавлен блок Non-Linear Optimization (Рисунок 7), имеющий следующие настройки:

- Критерий оптимизации: модуль (Выход модели - 1200)  $\rightarrow \min$ ;
- Управляющее воздействие – Поток концентрата в печь.

Ограничение по управлению для загрузки концентрата в печь кипящего слоя – 2-28 т/ч.

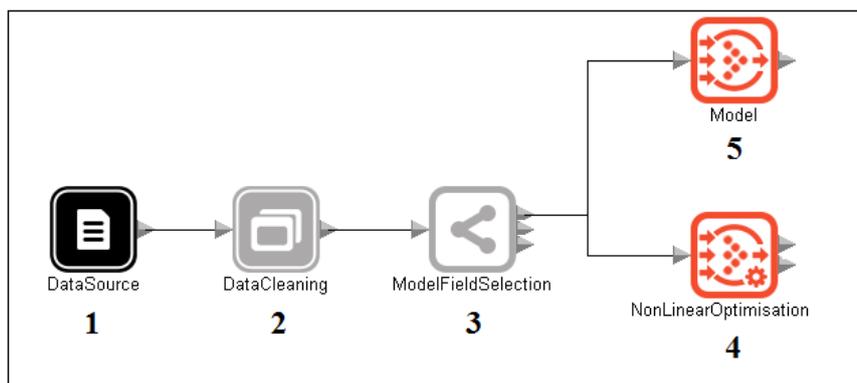


Рисунок 7 – Оптимизация процесса обжига никелевого концентрата в печи кипящего слоя (1-архивные данные, 2- обработка данных, 3-распределение выходных полей для моделей, 4 – блок оптимизации, 5 – модель процесса обжига)

С помощью прогнозирующего регулятора, созданного в Proficy CSense, стабилизировано значение температуры под сводом печи в соответствии с уставкой. Управление выполнялось за счет изменения величины расхода концентрата и основывалось на базе знаний, заложенных в модель печи кипящего слоя. Регулятор, прогнозируя поведение целевой величины, управляющими воздействиями превосхищает ее значительные колебания. Такой способ управления является предпочтительным по отношению к стандартному ПИД регулированию с обратной связью. Результаты работы регулятора представлены на рисунке 8.

Согласно рисунку 8 стабильное значение температуры газов под сводом печи кипящего слоя достигается посредством прогнозирующего регулятора, работающего на основе статистической модели процесса обжига никелевого концентрата. Стабильное поддержание значения температуры на уровне уставки позволяет доводить реакции обжига тонких фракций никелевого концентрата до их завершения, а также выдерживать температурный режим пылеулавливающего оборудования.

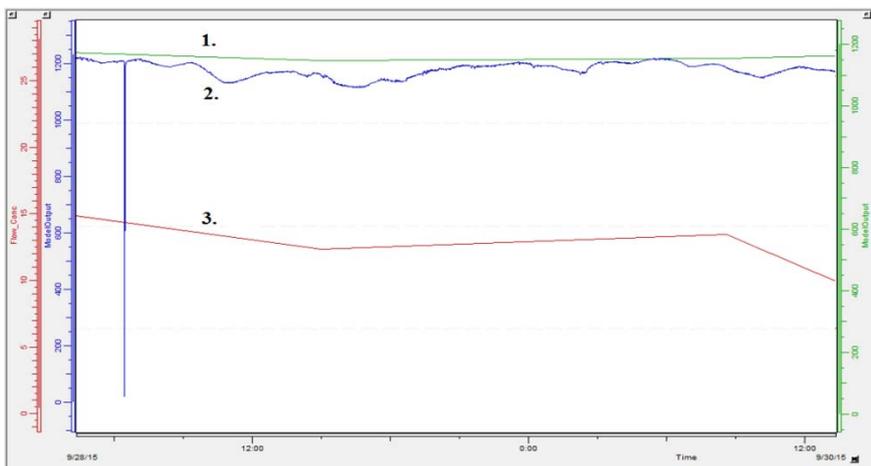


Рисунок 8 – Оптимизация процесса обжига никелевого концентрата в печи кипящего слоя. Результаты работы (1-оптимизированное значение температуры под сводом печи, °C, 2-моделированное значение температур под сводом печи, °C, 3-расход концентрата в печь, т/ч)

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационной работы были проведены исследования процессов сгущения медно-никелевого концентрата и процессов переработки никелевых концентратов, по результатам которых можно сделать следующие выводы:

1. Автоматизированная система параллельного управления загрузкой и разгрузкой сгустителей процесса сгущения медно-никелевого концентрата позволяет стабилизировать колебания плотности на выходе передела сгущения до  $0,05 \text{ т/м}^3$ . Стабильное значение плотности медно-никелевого концентрата после передела сгущения позволяет получать выходной концентрат с высоким постоянным содержанием никеля что, в свою очередь, уменьшает материальные затраты на расход реагентов и электроэнергию. Также стабильное содержания никеля в концентрате значительно уменьша-

ет возмущающее воздействие по его составу при управлении процессом переработки концентрата в печи взвешенной плавки.

2. На основе алгоритма параллельного управления переделом сгущения медно-никелевого концентрата разработан программный продукт, представляющий собой исполнительный файл для ЭВМ под управлением MS Windows. Основные преимущества разработанного продукта состоят в его мобильности (возможен перенос .exe файла на любую ЭВМ в сети), универсальности (поддерживается масштабирование количества сгустителей, задание границ основных переменных процесса), низкой стоимости (модернизация процесса не требует значительных затрат на новое оборудование КИПиА и лицензированное программное обеспечение, за исключением системных программ);

3. Статистическая модель процесса сгущения медно-никелевого концентрата имеет высокую сходимость (до 95%) с архивными данными. Разработка статистической модели велась двумя способами, первый – Proficy CSense, второй – RTD, MATLAB (Simulink). Обе модели имеют высокий процент сходимости, но использование программного пакета от компании GE позволяет значительно сократить трудозатраты инженера и избежать возможных ошибок при стандартном статистическом моделировании. Proficy CSense в виде продуктов Proficy Troubleshooter и Proficy Architect позволяет проводить исследование процесса на созданной статистической модели, что дает возможность получения неопределенных ранее взаимосвязей процесса. Также в данной работе было предложено учитывать структуру гидродинамической модели сгустителя, что позволило значительно увеличить точность определения взаимосвязи между переменными процесса сгущения. На основании исследования процесса сгущения был сделан вывод о возможном применении программного продукта Proficy CSense для моделирования и управления процессами переработки никелевых концентратов;

4. Разработанный на основе статистической модели универсальный программный тренажер передела сгущения позволяет ускорить внедрение автоматизированной системы параллельного управ-

ления загрузкой и разгрузкой сгустителей за счет предварительного обучения персонала. На данный тренажер получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015614355;

5. Использование регулятора, основанного на базе нечетких правил и статистической модели объекта, позволяет прогнозировать расход дутья в печь взвешенной плавки никелевого концентрата при стабильном поддержании параметра температуры реактора и состава штейна. На основе данного регулятора синтезирована автоматизированная система управления процессом плавки. Совместное использование этой системы и системы параллельного управления переделом сгущения позволяет значительно улучшить качество штейна за счет уменьшения возмущающих воздействий по составу шихты;

6. Автоматизированная система управления, основанная на регулировании с прогнозирующей моделью, позволяет стабилизировать температуру газов под сводом печи кипящего слоя посредством изменения расхода концентрата в печь. Использование регулятора с прогнозирующей моделью позволяет вывести процесс обжига никелевого концентрата на новый качественный уровень. Так как регулирование в соответствии с взаимосвязями объекта предвосхищает изменение целевого параметра, происходит значительное уменьшение перерегулирования, а значит и повышение качества огарка. Также постоянное значение температуры газов под сводом печи позволяет проводить полный обжиг тонких фракций никелевого концентрата и выдерживать температурный режим пылеулавливающего оборудования;

7. Взаимосвязь расхода концентрата в печь кипящего слоя и температуры потока огарка в трубчатую вращающуюся печь имеет нелинейную зависимость, а именно, с 0 до 12 т/ч зависимость  $y = \sqrt{kx}$ , где  $k > 0$ , с 12 до 30 т/ч зависимость  $y = e^x$ . Корреляционная зависимость между данными параметрами составляет 83,94%. Исследования взаимосвязи расхода концентрата и температуры потока огарка позволяют предположить возможное ее использование для расчета расхода огарка в трубчатую вращающуюся печь, ведь чем больше огарка пройдет в печь, тем больше тепловой энергии будет

передано этому потоку. Производственная необходимость состоит в том, что использование существующих расходомеров при такой температуре (1100 °С) невозможно.

#### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Шариков Ю.В. Влияние стабилизации выходной плотности сгущения на выходной продукт. / Ю.В. Шариков, **А.Н. Николаев**, А.А. Кравчук // Научно-технический и производственный журнал «Металлург». – 2016. – № 2. – С. 85-87.

2. **Nikolaev A.N.** The problem of stabilization of the thickening process and possible method to solve it /A.N. Nikolaev, Yu.V. Sharikov // International research journal. – 2015. – №9(40). – P. 82-84.

3. **Николаев А.Н.** Применение комплекса Proficy Troubleshooter для установления зависимости между входными и выходными переменными обжига никелевого концентрата /А. Н. Николаев, Ю.В. Шариков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №12(54). – С. 21-23.

4. Sharikov Yu.V. Effect of stabilizing the final density of thickened pulp on the quality of concentrate / Yu.V. Sharikov, **A.N. Nikolaev**, А.А. Kravchuk // Metallurgist. – 2016. – № 2. – P.85-88.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015614355. Универсальный программно-технический тренажер для управления процессом сгущения / **А.Н. Николаев**, Ю.В. Шариков // Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 16 апреля 2015 г.