

## ОТЗЫВ

### официального оппонента на диссертационную работу ФЕДОРОВОЙ Эльмиры Рафаэлевны

на тему: «Распределение питающего потока между параллельными сгустителями при управлении технологическим переделом сгущения и промывки красных шламов глиноземного производства», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (металлургия)

#### 1. Актуальность темы диссертации

На заводах, работающих по схемам Байера и Байер-спекания, передел сгущения и промывки необходим для отделения красного шлама от жидкой фазы разбавленной пульпы перед контрольной фильтрацией, уменьшения потерь щелочи и окончательного обескремнивания алюминатного раствора. С жидкой фазой красного шлама на шламовом поле безвозвратно теряется 10-20%, вводимой в процесс, каустической щелочи. В условиях завода Ewarton снижение потерь щелочи на 1% дает годовой экономический эффект в размере 300 тыс. \$. За счет внедрения системы автоматического распределения потока питания между параллельными нитками сгущения на этом заводе можно добиться сокращения отношения Ж/Т песков на 0,1 единицы, что обеспечит эквивалентное уменьшение потерь щелочи на 0,25%. Другими результатами внедрения системы управления сгущением являются: снижение нагрузки на фильтры за счет уменьшения концентрации твердого в сливе сгустителей, стабилизация зон в сгустителе, повышение производительности участка. В условиях действующего производства из-за изменяющегося общего потока пульпы, состава выщелачиваемого боксита, нарушений на переделе выщелачивания и ручного управления процесс сгущения протекает нестабильно. Комплексной системы управления потоками пульпы на сгущение ни на заводе Ewarton, ни на российских глиноземных заводах в настоящее время нет. Диссертационная работа Федоровой Э.Р., направленная на ее создание, является актуальной.

#### 2. Научная новизна работы

1. Изучены свойства пульпы красного шлама завода Ewarton. В ходе обработки лабораторных данных определены кинетические параметры процессов образования и разрушения флокул.
2. В пакете ANSYS Fluent с использованием алгоритма Dense Discrete Phase Model (DDPM) автором создан и отработан способ моделирования процесса сгущения методом вычислительной гидродинамики (CFD) с учетом формы и конструкции сгустителя. Этот ме-

тод приобрел популярность после 2010 года. Открытых публикаций, детально описывающих особенности его применения для моделирования сгустителей не встречается.

3. Математическая модель с сосредоточенными параметрами разработана автором для описания работы сгустителя в стационарном и динамическом режиме. Алгоритм, лежащий в ее основе, обобщает методику расчета скорости осветления раствора и уплотнения осадка, развитую в работах Ричардсона, Заки, Янга, Ренкена и других. Модель включает уравнения состояния зон: флокуляции твердых частиц, стесненного осаждения и уплотнения осадка, осветления; позволяет учесть ухудшение качества сгущения, возникающее в процессе инкрустации аппарата осадками и зашламливания его днища.

4. В работе использован оригинальный способ решения задачи оптимального управления со множественными локальными оптимумами – метод клонального отбора. Применение этого способа обеспечивает нахождение глобального оптимума функции и повышает быстродействие системы за счет параллельных вычислений. На основе этого метода реализован алгоритм распределения потока разбавленной пульпы красного шлама между сгустителями.

### **3. Практическая значимость**

1. Предложена система автоматического управления потоками пульпы на участке сгущения. В ее составе есть модель, выполняющая непрерывный прогноз выходных параметров каждого работающего сгустителя, а также блок оптимизации на основе алгоритма клонального отбора, позволяющий решить задачу распределения потока разбавленной пульпы красного шлама между параллельно работающими сгустителями. Система автоматического управления стабилизирует содержание твердой фазы в сгущенном продукте в заданном диапазоне и минимизирует массовый расход твердых частиц в объединенном алюминатном растворе после сгустителей.

2. Показана возможность использования архивных данных системы управления после их обработки в среде GE Proficy Architect для настройки коэффициентов прогнозирующей модели сгущения, что позволяет выполнять текущую коррекцию модели при расхождении прогноза с результатами контрольных замеров, и поддерживать настройки системы управления в оптимальном состоянии.

3. Разработана программа для ЭВМ «Программный тренажер для моделирования процесса сгущения», в которой рассчитывается профиль концентрации твердой фазы по высоте сгустителя и уровень шлама в аппарате при изменении расхода и состава входных потоков. Эта программа или реализованный в ней алгоритм могут быть использованы для трени-

ровки аппаратчиков участков сгущения и промывки красного шлама по оперативному управлению работой оборудования.

4. Обобщенная математическая модель, включающая в себя подмодель флокуляции твердой фазы, подмодель зоны стесненного осаждения и уплотнения осадка, подмодель зоны осветления может быть использована в балансовых технологических расчетах. В составе полной математической модели завода она позволит рассчитать изменение чистоты слива и плотности сгущенного продукта, оценить их влияние на другие переделы и показатели эффективности производства в целом.

#### **4. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Автором выполнен анализ значительного количества научных публикаций и информационных источников по теории и технологии сгущения красного шлама. Достоверность результатов, содержащихся в диссертации, обусловлена значительным количеством экспериментальных данных, лабораторных опытов, тестированием разработанной модели, сопоставлением результатов собственных расчетов с ранее опубликованными данными, апробацией системы управления на выборке архивных данных объекта управления. Теоретические выводы научно обоснованы, не противоречат известным закономерностям процесса сгущения, подтверждены экспериментально.

На всех этапах исследования использовано надежное программное обеспечение: моделирование процесса сгущения красного шлама выполнено с помощью программных пакетов Matlab и ANSYS Fluent; синтез системы управления параллельно работающими сгустителями проводился в среде MatLab и в программах GE Proficy Troubleshooter, GE Proficy Architect из среды GE Proficy Csense.

#### **5. Замечания, рекомендации и выводы по работе**

1. В главе 3 диссертационной работы описана модель сгустителя, выполненная в программе ANSYS Fluent. Здесь подробно рассказывается о последовательности ее создания и анализируются результаты, выполненных с ее помощью численных экспериментов. При этом не указана связь между задачей по разработке CFD-модели сгустителя и работами по автоматизации участка сгущения. Существует ли эта связь, как использованы результаты CFD-моделирования при разработке алгоритмов работы системы управления?

2. В той же главе (раздел 3.8.2) описывается структура обобщенной динамической модели сгустителя, которая представлена простой каскадной моделью Винера-Гаммерштейна и состоит из последовательно соединенных динамических линейных элементов и статического нелинейного элемента (рисунок 3.32). Статический нелинейный элемент

представляет собой стационарную нелинейную модель, разработка и синтез которой приведены. Динамические линейные элементы представлены двумя апериодическими звеньями первого порядка, но сами динамические константы и, как они получены, не описано. Тем не менее, порядок оценки динамических характеристик сгустителя, как объекта управления с переменным транспортным запаздыванием и значительной нелинейностью требует пояснения.

3. Отсутствие надежных данных об уровне шлама может привести к переполнению, резкому ухудшению качества слива и останову сгустителя. В разработанной прогнозирующей математической модели высоту шламовой постели предлагается рассчитывать по косвенным данным, в то время как на современных глиноземных заводах для этой цели используются оптические датчики. Попытки основывать расчет высоты шламовой постели на таких измеряемых параметрах, как: мутность слива, плотность песков, момент на валу мешалки раньше часто проваливались из-за слабой тесноты корреляционной связи между ними и малого отношения сигнал/шум. В работе было бы желательно провести оценку погрешности косвенного измерения высоты шламовой постели и сравнение косвенных оценок с результатами прямых измерений.

4. В процессе работы используется программа «Excel Population Balance Model», (проект «AMIRA p266 project: Improving thickening technology») для расчета диапазона распределения образующихся в процессе агрегации флокул и среднего диаметра флокулы. Однако полученный диапазон распределения флокул в питающем стакане принимается во внимание только при моделировании зоны осветления, а для зоны стесненного осаждения и уплотнения осадка (а, следовательно, в программе для ЭВМ) на входе используется моночастица. Почему не рассматривается полидисперсность питающей пульпы во всех подмоделях обобщенной модели сгустителя?

5. Система автоматического управления параллельно работающими сгустителями включает в себя регуляторы с прогнозирующей моделью для каждого из сгустителей и блок оптимизации. Блок оптимизации в системе управления на основе алгоритма клонального отбора позволяет распределять питающий поток на ветке сгущения красного шлама между параллельно работающими сгустителями. В работе (страница 161) сказано, что предложенный алгоритм, относящийся к классу алгоритмов параллельного поиска, справляется с поиском глобального минимума для функций, имеющих множество локальных минимумов, но не приведено сравнений с другими аналогичными алгоритмами. Не указано, обладает ли предложенная система управления преимуществами перед массово внедряемыми системами

улучшенного управления (Advanced Process Control), также основанными на прогнозирующих моделях управляемого процесса?

Несмотря на отдельные шероховатости в изложении результатов исследования в диссертации, следует отметить, что Э.Р. Федоровой выполнен большой объем теоретической, расчетной и экспериментальной работы, позволившей решить ряд актуальных научных и технологических задач.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка символов, списка условных обозначений и аббревиатур, списка литературы и приложения. Работа содержит 192 страницы машинописного текста, 102 рисунка, 10 таблиц и список литературы из 115 наименований.

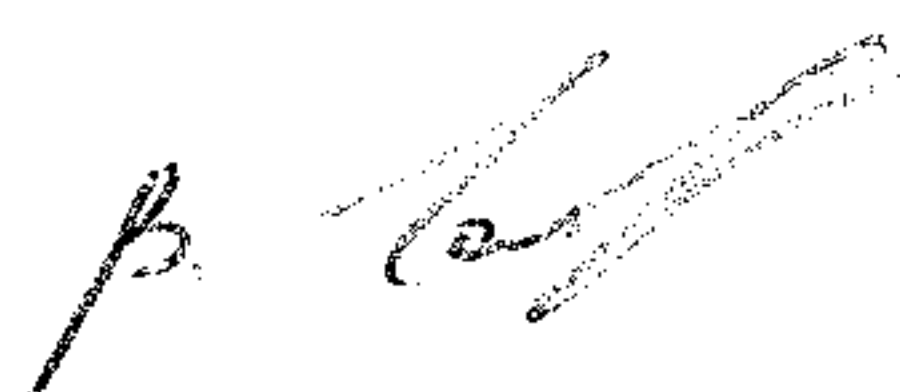
Диссертация хорошо оформлена, включает большой объем иллюстративного и фактического материала. Содержание диссертации достаточно полно изложено в опубликованных работах и апробировано на конференциях различного уровня. Автореферат полностью передает содержание диссертационной работы.

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей высокой оценки представленной диссертационной работы.

Диссертационная работа Федоровой Эльмиры Рафаэлевны является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление правительства РФ №842 от 24.09.2013 г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (металлургия).

**Официальный оппонент,  
кандидат технических наук  
Начальник отдела математического моделирования  
и автоматизации глиноземного производства ООО «РУСАЛ ИТЦ»**

25.05.2017



**Голубев Владимир Олегович**

Адрес: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., Средний проспект, д. 86.  
Телефон: +7 (965) 005 91 36  
E-mail: vladimir.golubev2@rusal.com

