

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Пупышевой Елены Александровны
на тему «Система усовершенствованного управления процессом противоточной промывки
красного шлама глиноземного производства», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами

В современных условиях развития гидрометаллургических технологий остро встаёт задача повышения эффективности замкнутых водных циклов и сокращения потерь реагентов в процессе переработки бокситов. Процесс противоточной промывки красного шлама (КШ) – заключительное и наиболее ресурсоёмкое звено байеровского передела производства глинозёма. Непостоянство состава и объёма питающего потока, высокая инерционность промывателей и отсутствие прямых измерений ключевых управляемых параметров (диаметр флоккулы, уровень раздела фаз и т. д.) затрудняют стабильную работу существующих АСУ ТП, что ведёт к перерасходу флокулянта, потере ценных компонентов и росту щелочной нагрузки на шламохранилища. Предложенный автором переход от классической структуры регулирования к технологии многопараметрического управления – система усовершенствованного управления технологическим процессом (СУУ ТП), известной за рубежом как APC (Advanced process control), с использованием программно-управляемых датчиков (soft-sensor) и прогнозной модели снимает указанные ограничения и соответствует глобальным трендам цифровой трансформации металлургических производств.

В работе Пупышевой Е.А. представлены новые научные результаты, в частности:

- 1) установлена количественная зависимость средневзвешенного диаметра сфлуккулированных частиц от исходного гранулометрического состава КШ;
- 2) разработана и верифицирована математическая модель агрегации (деагрегации) на базе популяционного баланса, адаптированная для интеграции с программно-управляемым датчиком (soft-sensor) в составе СУУ ТП;
- 3) сформулирована и реализована обобщённая динамическая модель промывателя, связывающая рост (распад) флоккул и процессы свободного и стеснённого осаждения;
- 4) предложена целостная архитектура СУУ ТП, позволяющая в режиме реального времени прогнозировать отношение массы жидкой фазы суспензии к массе твёрдой фазы (Ж/Т) и содержание NaOH на каждой стадии и оптимизировать управляющие воздействия.

Заявленный комплекс моделей и алгоритмов является первым в отечественной практике примером применения модели баланса популяции (PBM-подхода) и REST-интеграции (Representational State Transfer) в реальном промышленном контуре промывки.

Существенным положительным преимуществом работы является то, что результаты исследований нашли применение на практике. Разработанные математические модели расширяют прикладную теорию разделения твёрдой и жидкой фаз для сильно дисперсных гидрометаллургических суспензий. В практическом плане внедрение СУУ ТП позволило:

– снизить Ж/Т пульпы из-под промывателей более чем на 3 % и удерживать концентрацию NaOH $\leq 3,5$ г/л;

ОТЗЫВ

– вернуть в оборот до 127 тыс. м³ промывной воды и сократить потери щёлочи на 217 т/год.

Полученные эффекты подтверждены актом внедрения в профильной инжиниринговой компании и свидетельствами государственной регистрации трёх программ для ЭВМ, что свидетельствует о высокой прикладной ценности работы.

Достоверность и обоснованных научных положений, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений. Корректность выводов обоснована сочетанием лабораторных экспериментов (15 серий осаждения при $T = 93-98\text{ }^{\circ}\text{C}$), производственной проверки на пяти последовательно-связанных промывателях и сопоставлением модельных расчётов с архивными отчетными данными предприятия.

Основные результаты работы обсуждены на 8 международных и всероссийских научно-практических конференциях, опубликованы в 8 печатных работах, включая 2 статьи из Перечня ВАК РФ и 3 статьи, индексируемые в Scopus.

По содержанию автореферата имеются следующие вопросы:

1. На с. 16 автореферата автор отмечает сезонную изменчивость эффекта экономии щелочи (NaOH), в частности, падение эффективности во втором полугодии (июль-декабрь). Какие конкретные коррективы параметров модели и алгоритмов регулирования планируется внести для нивелирования климатических факторов?

2. В работе отмечено (с. 18 автореферата), что математическая модель агрегации и деагрегации частиц КШ, выступающая в качестве основы программно-управляемого датчика (soft sensor) в составе СУУ ТП, дает погрешность не более 13 %, которая признана удовлетворительной. Однако не раскрыт допуск по диаметру флокул в регламенте предприятия. Соответствует ли указанная точность требованиям качественного показателя промывки?

3. Верификация модели проводилась на промывателях диаметром 20 м. Какие параметры подлежат пересчёту при масштабировании модели и тиражировании автоматизированной системы на аппараты другого типоразмера или на шламы с отличной минералогией?

4. На с. 15 автореферата указано, что модель прогнозирования использует эмпирические параметры, полученные с помощью технологии машинного зрения. Как обеспечивается качество и точность извлечения данных из видеопотока?

5. Какие требования к вычислительной мощности и сетевой инфраструктуре действующей на предприятии АСУ ТП предъявляет развертывание программного REST-сервиса и блока нелинейной оптимизации?

6. Как решаются вопросы кибербезопасности при интеграции предложенного решения в цифровую структуру предприятия?

Приведенные вопросы не снижают общей ценности представленной работы. Она выполнена на высоком научном уровне, содержит теоретически обоснованные и экспериментально подтвержденные результаты, имеющие как фундаментальную, так и прикладную ценность в области цветной металлургии.

Диссертация «Система усовершенствованного управления процессом противоточной промывки красного шлама глиноземного производства», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 №953 адм, а ее автор – Пупышева Елена Александровна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Профессор кафедры теплофизики и информатики в металлургии
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого президента России Б.Н. Ельцина»,
доктор технических наук, доцент



Лавров Владислав Васильевич

«02» июля 2025 г.

Телефон: +7(343) 375-44-51

E-mail: v.v.lavrov@urfu.ru

Подпись Лаврова Владислава Васильевича заверяю:

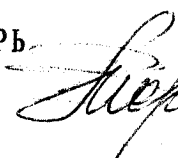
М.П.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого президента России Б.Н. Ельцина»
Адрес: 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
Официальный сайт в сети Интернет: <https://urfu.ru/ru/>
Контактный телефон: 8-800-100-50-44

Я, Лавров Владислав Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Пупышевой Елены Александровны, и их дальнейшую обработку.

Подпись Владислава Васильевича Лаврова заверяю

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В.А.



Подпись