

ОТЗЫВ

официального оппонента **профессора, доктора технических наук Уткина Льва Владимировича** на диссертацию **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.

1. Актуальность темы диссертации

Производство глинозема по технологии Байера сопровождается образованием значительного количества вторичного отхода – красного шлама (КШ), представляющего собой нерастворимый остаток переработки бокситового сырья в гидроксиде натрия. В технологическом цикле важным этапом является противоточная промывка КШ, направленная на возврат в технологический процесс ценных компонентов (оксид алюминия и оксид натрия), а также на снижение негативного воздействия остаточного гидроксида натрия на окружающую среду.

Промыватели, используемые для реализации противоточной промывки, относятся к классу сложных технологических объектов управления, характеризующихся выраженной инерционностью, нелинейностью и взаимозависимостью множества входных и выходных технологических параметров. Эти характеристики существенно затрудняют эффективное управление процессом в условиях непрерывных возмущающих воздействий со стороны входящего потока шламовой пульпы. В настоящее время система управления противоточной промывкой на рассматриваемом и аналогичных ему предприятиях носит преимущественно полуавтоматический характер с высоким уровнем вмешательства операторов-технологов в процесс управления.

Дополнительным фактором сложности управления является наличие конструктивных ограничений промывателей, которые не позволяют осуществить прямые инструментальные измерения средневзвешенного

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-109 от 23.05.25
АУ УС

диаметра нестабильных флокул КШ, образующихся при взаимодействии с флокулянтom в зоне питающего стакана. В связи с этим возникает необходимость использования косвенных измерений и расчётных моделей, реализуемых в форме программно-управляемых виртуальных датчиков (soft sensors).

Особую актуальность в условиях современной металлургической промышленности приобретает задача модернизации существующих автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и переход на передовые технологии многопараметрического управления, известные в международной практике как системы усовершенствованного управления технологическим процессом (Advanced Process Control, APC). Основополагающими компонентами таких систем являются адекватные прогнозные модели технологических процессов и упомянутые выше программно-управляемые виртуальные датчики. Внедрение систем СУУ ТП в процесс противоточной промывки КШ позволяет значительно сократить время стабилизации технологических параметров, снизить содержание жидкой фазы и остаточного гидроксида натрия в конечном отвальном продукте.

2. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их новизна

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается надежными исходными данными, корректностью постановки научно-технической задачи, адекватностью выбранного научного аппарата и корректностью применения указанных методов исследования. Теоретические и практические данные, использованные в диссертации, опираются на опубликованные труды российских и зарубежных ученых.

3. Научные результаты, их ценность

К числу существенных результатов, полученных соискателем, обладающих научной ценностью, можно отнести:

– установлена зависимость средневзвешенного диаметра сфлуктурированных частиц из-под питающего стакана промывателя от исходного гранулометрического состава пульпы красного шлама;

– разработана математическая модель агрегации и деагрегации красного шлама в присутствии флокулянта на базе модели популяционного баланса, позволяющая рассчитывать средневзвешенный диаметр сфлуктурированных частиц из-под питающего стакана промывателя и распределение флокулов по размерам в питающем стакане в зависимости от исходного гранулометрического состава пульпы;

– предложена структура системы усовершенствованного управления технологическим процессом противоточной промывки красного шлама глиноземного производства с непостоянным потоком на входе на базе прогнозной модели процесса противоточной промывки и программно-управляемого датчика (soft sensor) для определения неизмеряемого параметра.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 11 печатных работах, в том числе в 2 статьях в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук и в 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 3 свидетельства на программу для ЭВМ.

4. Теоретическая и практическая значимость диссертации

Предложено использовать модель агрегации и деагрегации красного шлама в присутствии флокулянта на базе модели популяционного баланса в составе программно-управляемого датчика (soft sensor) косвенного измерения параметров средневзвешенного диаметра флокулов из-под питающего стакана и распределения флокулов по размеру в процессе флокуляции в питающем стакане в динамике и по завершении процесса с учетом возможной деагрегации частиц (свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №2022619089, №2022683727).

Разработана прогнозная модель противоточной промывки красного шлама в качестве модуля системы усовершенствованного управления технологическим процессом, на основе обобщенной математической модели промывателя, обеспечивающей расчет высоты уплотненного продукта в промывателе, расчет концентрации твердого вещества по высоте промывателя с отметки ниже питающего стакана, расчет концентрации твердого вещества на выходе из промывателя (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2024614660) и подмодели расчета содержания щелочи из-под каждого промывателя.

Результаты исследований использованы в деятельности компании АО «Моделирование и Цифровые двойники» при моделировании процессов агрегации и деагрегации частиц, а также оптимизации технологических параметров процессов сгущения и промывки (акт о внедрении от 12.03.2025).

5. Замечания и вопросы по диссертации

- В главе 2 представлена программная реализация soft sensor. Насколько алгоритмы, реализованные в Python, адаптированы под реальное внедрение в среду промышленного контроллера (например, OPC UA, SCADA)?

- В результате исследования возможности определения уровня жидкости в цилиндрах с помощью системы машинного зрения предложено использовать MobileNetV2 (CNN), основанный на глубокой нейронной сети. Требуется обоснование выбора именно этого алгоритма в сравнении с другими известными архитектурами (например, ShuffleNet, SqueezeNet, EfficientNet). Как проводилась оценка качества работы алгоритма для анализа визуальных данных, какие метрики для этого использовались?

- Какие именно техники преобразования изображений вы применяли во время обучения нейронной сети и каким образом они повысили её надёжность при работе с реальными экспериментальными кадрами?

- В диссертации предложена интеграция прогнозной модели в СУУ ТП. Как решаются задачи обратной связи при наличии инерционности до 12 часов, указанных для радиального промывателя?

- Следует пояснить, какие преимущества и недостатки были учтены при выборе HTTP(S) по сравнению с другими промышленными протоколами (OPC UA, MQTT, Modbus TCP) и какие критерии оказались решающими при принятии итогового решения.

- В диссертации указано, что внедрение СУУ ТП позволило снизить объемную долю жидкой фазы более чем на 3 %. Какой была статистическая достоверность этого результата, и на каком объеме данных (периоде наблюдений) он подтверждён?

Высказанные замечания не снижают научной и практической значимости выполненной работы.

6. Заключение

Диссертация Пупышевой Елены Александровны является законченной научно-квалификационной работой, все защищаемые положения диссертации прошли апробацию на международных конференциях, по теме исследования опубликовано 11 научных трудов, из них в изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК) – 2, в международных реферативных базы данных и системах цитирования Scopus, Web of Science – 3, получено 3 свидетельства на программу для ЭВМ.

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, полностью 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.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор, профессор и главный научный сотрудник Высшей школы технологий искусственного интеллекта, Института компьютерных наук и кибербезопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»



Уткин Лев Владимирович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Адрес: ул. Политехническая, д.29 литера Б, Санкт-Петербург, 195251

Телефон: 8 (812) 775-05-30

E-mail: office@spbstu.ru

Подпись доктора технических наук, профессора федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», научно-исследовательской лаборатории «Суперкомпьютерные технологии и машинное обучение» Уткина Льва Владимировича заверяю.

«20» 05 2025г.

М.П.

