

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук **Русинова Л.А.** на диссертационную работу **Фёдоровой Э.Р.** 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).

Актуальность темы диссертации. Диссертационная работа Федоровой Э.Р. посвящена повышению эффективности процесса сгущения красных шламов. В настоящее время существует ряд предложений и методов, позволяющих повышать качество процесса сгущения красного шлама. Однако используемые для целей управления модели, как показал анализ, не в полной мере учитывают наличие возмущающих воздействий и нелинейные взаимосвязи входных и выходных параметров. В то же время поступающая на ветку сгущения пульпа не постоянна по своему физико-химическому составу: крупность частиц, содержание твердой фракции и распределение частиц по размерам в питании, размер флокулируемых частиц, зарастание и зашламованность сгустителя и др. изменяются во времени. Таким образом, непостоянство параметров питающей пульпы, нелинейности, сильно коррелированные между собой выходные показатели и большая инерционность в получении информации об условиях протекания процесса существенно усложняют задачу качественного управления и, как следствие, существующие методы и алгоритмы управления, сводящиеся в большинстве случаев к стабилизации параметров первичных технологических контуров применительно к каждому работающему сгустителю в отдельности, оказываются малоэффективными. Тем более, что передел сгущения представлен параллельно работающими сгустителями и возникает задача такого распределения питающего потока между параллельными аппаратами, которое позволит оптимизировать ветку сгущения в целом.

Это делает диссертационную работу Федоровой Э.Р., направленную на повышение эффективности сгущения красного шлама за счет эффективного управления параллельно работающими сгустителями, важной и актуальной.

Научная новизна работы, по мнению оппонента, заключается, прежде всего, в разработке обобщенной математической модели сгустителя, которая устанавливает основные зависимости между входными и выходными переменными процесса. Разработанная автором модель сгустителя состоит из подмоделей зоны флокуляции твердой фракции, зоны стесненного осаждения и эффективного сжатия осадка, зоны осветления, что позволяет учитывать при моделировании наличие возмущающих воздействий, в частности размер флокулируемых частиц, зарастание и зашламливание сгустителя. Важно отметить, что модель сгустителя учитывает наличие конической части аппарата в процессе расчетов в отличие от существующих моделей, которые предполагают постоянное поперечное сечение. Как результат, автором установлено, что учет при моделировании процесса сгущения конической части сгустителя для исследуемого объекта управления позволяет на 30 % уменьшить погрешность при расчете высоты постели.

Необходимо отметить также нестандартный подход к решению задачи распределения питающей пульпы между сгустителями на ветке сгущения и промывки красного шлама. Алгоритм поиска оптимума функции, имеющей не единственное решение, на основе клонального отбора ранее не применялся к процессу сгущения.

Основная практическая значимость работы заключается в разработке комплексной системы управления потоками пульпы на переделе сгущения и промывки красных шламов, что позволит стабилизировать плотность сгущенного продукта в заданных диапазонах, минимизировать содержание твердой фракции в суммарном верхнем сливе сгустителей. Таким образом, результатами внедрения синтезированной системы управления будет являться повышение производительности передела за счет стабилизации работы сгустителей, как исследуемых объектов управления.

Как практически значимый результат необходимо отметить программный тренажер для моделирования процесса сгущения, который имитирует работу сгустителя и учитывает возможные измеряемые и неизмеряемые возмущения, такие как изменение средневзвешенного стоксовского диаметра частицы в питающей пульпе, содержание твердой фракции в питании, объемный расход питающей пульпы в сгуститель. Программа включает в себя подмодель флокуляции твердой фазы, а, следовательно, позволяет моделировать процесс осаждения флокулированной суспензии в зависимости от таких входных параметров как объемный расход флокулянта в питающий стакан, степени разбавления флокулянта и содержания твердой фракции в питании. Программный тренажер также позволяет учитывать коническую часть сгустителя при расчете профиля концентрации, высоты постели.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждается корректным проведением лабораторных экспериментов, численных экспериментов в программном продукте ANSYS Fluent и программе «Excel Population Balance Model». Синтез системы управления производился в среде MatLab и программном продукте GE Proficy Csense, состоящем из GE Proficy Troubleshooter, GE Proficy Architect. Полученные результаты численных расчетов не противоречат известным данным о закономерностях протекания процесса сгущения, система управления апробировалась на срезе архивных производственных данных исследуемого объекта.

По работе есть следующие **замечания и рекомендации:**

1. Для определения параметров фактора стесненного осаждения следовало бы провести несколько серий экспериментов, а не ограничиваться только одной.

2. В работе (Глава 3, Раздел 3.4) при моделировании зоны флокуляции твердой фазы в питающем стакане рассчитывается средний диаметр флокул в зависимости от объемного расхода флокулянта и его разбавления и не совсем понятно, учитывались ли физические свойства красного шлама,

например, плотность и вязкость, при построении модели флокуляции, рН раствора, а также скорость подачи флокулянта в питающий стакан.

3. При моделировании зоны осветления (Глава 3, Раздел 3.6.2) используется поправочный коэффициент K' , позволяющий учитывать зарастание и зашламливание сгустителя в процессе его эксплуатации, в связи с тесной корреляционной связью целевого параметра «мутность верхнего слива» с измеряемыми параметрами «высота граблин» и «ток, потребляемый двигателем при вращении граблин». В работе не указано, для привода с какими характеристиками получена зависимость коэффициента K' от параметров, и каким образом можно быстро адаптировать существующую модель при изменении характеристик привода?

4. В работе (Глава 4, Разделы 4.1, 4.1.1) описываются принцип работы предиктивного регулятора (Model predictive control - MPC) и интеграция MPC в систему управления. Следовало бы в работе при описании реализации регулятора в среде GE Proficy Architect продемонстрировать и пояснить настройки MPC.

5. При интеграции предиктивного регулятора в систему управления (Глава 4, Раздел 4.1.1) описаны векторы возмущающих и управляющих воздействий, регулируемых величин, но при этом не указаны диапазоны изменения параметров. Также необходимо отметить, что распространенные реализации и методы синтеза предиктивных регуляторов с ограничениями не рассматривают проблему робастности, что может спровоцировать потерю устойчивости системы.

Указанные недостатки не принципиальны и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Основные результаты имеют существенную, как научную, так и практическую значимость, их целесообразно использовать при повышении эффективности процесса сгущения красного шлама, а также технологий переработки сырья в других отраслях, использующих в качестве объекта управления сгуститель.

Диссертация написана вполне ясным языком, грамотно оформлена, включает достаточный для понимания объем материала по лабораторным экспериментам, по программной части работы, каждому полученному в

процессе работы результату соответствует развернутый и информативный вывод. Основные результаты освещены в опубликованных работах и апробированы на конференциях различного уровня. Автореферат полностью передает содержание диссертации.

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 Федорова Эльмира Рафаэлевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (металлургия).

Официальный оппонент, заведующий кафедрой Автоматизации процессов химической промышленности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)", доктор технических наук

Русинов
Леон Абрамович

Адрес: 190013, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 26.

Телефон: +7 (812) 4949253

E-mail: lrusinov@yandex.ru

