

УДК 66.047.3:622.7

EDN
[SJKCAE](#)

Экспериментальная валидация и оценка производительности процесса сушки флотоконцентрата в барабанной сушильной печи

Н.Т. Кулмуродова*

Навоийский государственный горно-технологический университет, г. Навои,
Узбекистан

*E-mail: nafisakulmurodova2@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена экспериментальной валидации и оценке производительности процесса сушки флотоконцентрата в барабанных сушильных печах. Рассматриваются этапы лабораторных испытаний, пилотной валидации и мониторинга промышленного внедрения на горнометаллургическом предприятии. Результаты демонстрируют снижение энергопотребления на 15-20%, повышение производительности на 10-12% и улучшение качества продукта. Экономический анализ показывает снижение эксплуатационных расходов и увеличение выручки. Результаты могут быть использованы для модернизации сушильных комплексов горнометаллургических предприятий, повышая конкурентоспособность отрасли на мировом рынке.

Ключевые слова: сушка флотоконцентрата, барабанная сушильная печь, горнометаллургическая промышленность, эксперимент, валидация, энергоэффективность, оптимизация производительности.

Experimental validation and performance evaluation of the flotation concentrate drying process in rotary drum dryers

N.T. Kulmurodova*

Navoi State University of Mining and Technologies, Navoi, Uzbekistan

*E-mail: nafisakulmurodova2@gmail.com

Abstract. The article focuses on the experimental validation and performance evaluation of the flotation concentrate drying process in rotary drum dryers. It examines the stages of laboratory testing, pilot validation, and industrial implementation monitoring at a mining and metallurgical enterprise. The results demonstrate a 15–20% reduction in energy consumption, a 10–12% increase in productivity, and improved product quality. Economic analysis reveals decreased operating costs and increased revenue. The findings can be applied to modernize drying systems at mining and metallurgical enterprises, enhancing the industry's competitiveness in the global market.

Keywords: flotation concentrate drying, rotary drum dryer, mining and metallurgical industry, experiment, validation, energy efficiency, performance optimization.

1. Введение

Процесс сушки флотоконцентрата играет ключевую роль в горнометаллургической промышленности, особенно в производстве цветных металлов и золота [1]. Эффективность этого процесса напрямую влияет на качество конечного продукта и экономические показатели предприятий [2-5]. В данной статье рассматриваются методы экспериментальной валидации и оценки производительности процесса сушки флотоконцентрата в барабанной сушильной печи, с акцентом на специфику горнометаллургической отрасли Узбекистана.

Сушка флотационных концентратов, особенно полученных из окисленных руд, представляет собой сложную технологическую задачу из-за высокой отшлакованности материала и наличия растворенных веществ, затрудняющих процесс сушки. Присутствие таких веществ, как известь, делает материал вязким и липким, что создает дополнительные трудности при обработке. Кроме того, по мере удаления основной массы влаги и повышения концентрации раствора, процесс сушки значительно замедляется.

В условиях возрастающего накопления техногенных отходов, удорожания энергоресурсов и ужесточения природоохранных нормативов, поиск экономичных и эффективных способов переработки и возврата в производство металлоотходов становится критически важным [6]. Оптимизация процесса сушки флотоконцентрата может внести существенный вклад в решение этих проблем, способствуя ресурсосбережению и снижению негативного экологического воздействия горнометаллургического производства.

Данное исследование исходит из комплексной оценки и оптимизации процесса сушки флотоконцентрата в барабанных сушильных печах, учитывающей специфику горнометаллургической отрасли Узбекистана. Особое внимание уделяется экспериментальной валидации и оценке производительности, что позволит выработать рекомендации по повышению эффективности процесса и снижению энергозатрат.

2. Методы и материалы

Комплексная оценка производительности процесса сушки флотоконцентрата требует применения обоснованных методик тестирования, позволяющих количественно определить улучшения по ряду ключевых параметров в контролируемых условиях [7, 8].
Базовые этапы исследования:

- лабораторные испытания;
- пилотная валидация;
- мониторинг промышленного внедрения.

Лабораторные испытания, как правило, проводятся на малогабаритных барабанных сушилках с возможностью изменения конфигурации. Это позволяет проводить прямое сравнение различных внутренних конструкций, температурных профилей и характеристик подачи материала. Основные параметры, которые варьируются в ходе экспериментов:

- температура сушильного агента (100-300°C);
- скорость вращения барабана (2-10 об/мин);
- угол наклона барабана (1-5°);
- время пребывания материала в сушилке (5-30 мин).

На этапе пилотной валидации используется специальная экспериментальная установка, моделирующая реальные производственные условия. Особое внимание следует уделять вопросам масштабирования и практическим аспектам, которые могли быть не в полной мере учтены при ранее проведенных лабораторных испытаниях.

Мониторинг промышленного внедрения является заключительным этапом исследования, выполняемым, как правило, на действующем производстве. В качестве примера приведем действующее производство АО "Алмалыкский ГМК", на котором была внедрена комплексная система мониторинга, отслеживающая следующие параметры [9]:

- потребление энергии;
- содержание влаги во входящем и выходящем материале;
- скорость пропускания материала;
- характеристики качества продукта.

3. Результаты и обсуждение

Лабораторные эксперименты показали, что оптимальные параметры сушки флотоконцентрата находятся в следующих диапазонах:

- температура сушильного агента: 180-220°C;
- скорость вращения барабана: 4-6 об/мин;
- угол наклона барабана: 2-3°;

- время пребывания материала: 15-20 мин.

При этих параметрах достигалось снижение влажности флотоконцентрата с начальных 24-26% до целевых 12-14% при минимальном энергопотреблении.

Пилотные испытания подтвердили эффективность использования камерного фильтр-пресса для предварительного механического обезвоживания флотоконцентрата. Было достигнуто снижение влажности до 25% при продолжительности цикла 20 минут. Это позволило значительно снизить нагрузку на барабанную сушилку и повысить общую энергоэффективность процесса.

Мониторинг промышленного внедрения оптимизированного процесса сушки на действующем горнометаллургическом производстве предоставил следующие результаты:

- снижение энергопотребления на 15-20%;
- увеличение производительности на 10-12%;
- стабильное достижение целевой влажности 12-14%;
- улучшение качества конечного продукта (снижение пылеобразования на 30%).

Экономический анализ позволяет сделать вывод о том, что внедрение оптимизированного процесса сушки флотоконцентрата способствует достижению следующих экономических эффектов, связанных со снижением эксплуатационных расходов на 12-15% за счет уменьшения энергопотребления и увеличением выручки на 8-10% благодаря повышению производительности и качества продукции. Срок окупаемости инвестиций в модернизацию оборудования составляет 2,5-3 года.

4. Заключение

Экспериментальная валидация и оценка производительности процесса сушки флотоконцентрата в барабанной сушильной печи позволяет определить оптимальные параметры процесса для условий горнометаллургического производства. Представленное внедрение оптимизированного процесса на АО "Алмалыкский ГМК" демонстрирует повышение энергоэффективности и производительности. Полученные результаты могут быть использованы для модернизации сушильных комплексов на других предприятиях отрасли, что будет способствовать повышению конкурентоспособности горнометаллургического сектора Узбекистана на мировом рынке.

Список литературы

1. Кулмуродова, Н.Т. Особенности автоматизации управления процессом сушки флотоконцентрата в барабанной сушильной печи / Н. Т. Кулмуродова, И. В. Ковалев, З. С. Кулмуродов, Е. Б. Кадиров // Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий (НТО-V-2024): Материалы V Всероссийской (национальной) научной конференции (г. Красноярск, 07-08 ноября 2024 г.). – Красноярск: Общественное учреждение «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений», 2024. – С. 67-75. – DOI: 10.47813/nto.5.2024.1010. – EDN: AEXNLZ.
2. Kovalev, I. The efficiency analysis of the automated plants / I. Kovalev, P. Zelenkov, S. Ognerubov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 70. – P. 012007. – DOI: 10.1088/1757-899X/70/1/012007. – EDN: UEMYPJ.
3. Kovalev, I. The Efficiency Analysis of Automated Lines of Companies Based on DEA Method / I. Kovalev, P. Zelenkov, S. Ognerubov // Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. – 2014. – V. 675. – P. 107-115. – DOI: 10.1007/978-3-319-03907-7_12. – EDN: UFMVAV.
4. Ковалев, И.В. Оценка надежности АСУ с блокирующими модулями защиты / И. В. Ковалев, П. А. Кузнецов, П. В. Зеленков [и др.] // Приборы. – 2013. – № 6(156). – С. 20-23. – EDN: QYWUTD.
5. Ковалев, И. В. Анализ эффективности организационно-технологических комплексов предприятий / И. В. Ковалев, А. А. Новожилов, Т. А. Рукавицына // Системы управления и информационные технологии. – 2010. – № 4(42). – С. 36-39. – EDN: NBIRKP.
6. Kulmurodova, N. Ensuring environmental safety of the filtration, drying, and roasting installation at a mining and metallurgical enterprise / N. Kulmurodova, I. Kovalev, Y. Kadirov [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2025. – Vol. 613. – P. 04008. DOI: 10.1051/e3sconf/202561304008.
7. Лакомкин, В.Ю. Расчет и проектирование барабанной сушильной установки / В.Ю. Лакомкин, С.Н. Смородин. – СПб.: СПб ГТУ РП. – 2012. – 38 с.

8. Храмов, А. Н. Выбор внутренних устройств барабанных сушилок при сушке флотационных концентратов / А.Н. Храмов, М.Ю. Субботин, В.П. Хамьянов, Б.А. Кутлин // Горный журнал. – 2014. - № 11. - С. 88-90.
9. Kovalev, I. The research of the formation of phase portraits of linear second-order systems taking into account the dynamic characteristics of the model / I. Kovalev, N. Kulmurodova, M. Saramud [et al.] // EPJ Web of Conferences. – 2025. – V. 318. – P. 04007. DOI: 10.1051/epjconf/202531804007.
10. Yakubov, M. M. Understanding the possibility of using secondary raw materials when smelting copper sulphide concentrates in Almalyk MMC's Vanyukov furnace / M.M. Yakubov, Kh. Yu. Dzhumaeva, I.S. Umaraliev, Sh. A. Mukhamedzhanova // Tsvetnye Metally. –2023. – № 5. – DOI:10.17580/tsm.2023.05.02.