СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.

Бойбутаев Санжар Бахритдинович

Доцент кафедры" Автоматизация и управление " Навоийского государственного горно-технологического университета

E-mail: sanjarboybutayev8@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada yanchish jarayonlarini raqamlashtirishning istiqbollari va amaliy jihatlari chuqur tahlil qilingan. Xususan, uskunalar holati va texnologik parametrlarini onlayn monitoring qilish tizimlarini joriy etish, nosozliklarni oldindan bashoratlash hamda ish rejimlarini optimallashtirish uchun prediktiv analitikadan foydalanish, shuningdek, ishlab chiqarish ssenariylarini virtual muhitda modellashtirish va sinovdan o‘tkazishda raqamli egizak texnologiyalarini qo‘llash masalalari ko‘rib chiqilgan. Pilot loyihalar va sanoat sinovlari doirasida olingan natijalar tahlili asosiy samaradorlik ko‘rsatkichlarining sezilarli yaxshilanganini ko‘rsatadi, jumladan: ishlab chiqarish unumdorligining oshishi, solishtirma energiya sarfining kamayishi, texnologik to‘xtab qolishlar sonining qisqarishi hamda avtomatlashtirish darajasining ortishi. Shuningdek, intellektual boshqaruv tizimlarini korxonaning mavjud ishlab chiqarish infratuzilmasiga integratsiya qilish masalalari hamda xodimlarni raqamli transformatsiya sharoitida samarali faoliyat yuritishga tayyorlashga alohida e’tibor qaratilgan. Taqdim etilgan yechimlar nafaqat sex faoliyatining texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlarini yaxshilash, balki kelajakda texnologik jarayonlarni to‘liq avtonom boshqarish tizimlariga o‘tish uchun mustahkam ilmiy-texnik asos yaratishga imkon beradi.

Kalit so‘zlar: Yanchish jarayonlarini raqamlashtirish, uskunalar parametrlarini onlayn monitoring qilish, raqamli egizak, sanoat kontrollerlari, raqamli transformatsiya, optimallashtirish, intellektual tizimlarni integratsiya qilish.

Аннотация. В статье рассматривается перспективы и практические аспекты цифровизации процессов измельчения, включая внедрение систем онлайн-мониторинга параметров оборудования, предиктивной аналитики для прогнозирования отказов и оптимизации режимов работы, а также использование цифровых двойников для моделирования и тестирования производственных сценариев в виртуальной среде. Анализируются полученные результаты в рамках пилотных проектов и производственных испытаний, демонстрирующие улучшение ключевых показателей эффективности: повышение производительности, снижение удельных энергозатрат, сокращение простоев и повышение уровня автоматизации. Отдельное внимание уделено вопросам интеграции интеллектуальных систем в существующую инфраструктуру предприятия и подготовке

ISSN 3030-3907

персонала к работе в условиях цифровой трансформации. Представленные решения позволяют не только повысить технико-экономические показатели работы цеха, но и создать фундамент для перехода к полностью автономному управлению технологическим процессом в будущем.

Ключевые слова: цифровизация процессов измельчения, онлайн-мониторинг параметров оборудования, цифровой двойник, промышленные контроллеры, цифровая трансформация, оптимизация, интеграция интеллектуальных систем.

Abstract: The article explores the prospects and practical aspects of digitalizing grinding processes, with a particular focus on the implementation of online monitoring systems for equipment parameters, the application of predictive analytics for failure forecasting and operational mode optimization, as well as the use of digital twin technologies for modeling and testing production scenarios in a virtual environment. An analysis of the results obtained from pilot projects and industrial trials demonstrates significant improvements in key performance indicators, including increased productivity, reduced specific energy consumption, minimized downtime, and enhanced levels of automation. Special attention is devoted to the challenges of integrating intelligent control systems into the existing industrial infrastructure and to personnel training for effective operation under conditions of digital transformation. The proposed solutions not only improve the technical and economic performance of the production unit but also establish a solid foundation for the future transition toward fully autonomous control of technological processes.

Key words: digitization of grinding processes, online monitoring of equipment parameters, digital twin, industrial controllers, digital transformation, optimization, integration of intelligent systems.

Введение.

Предлагается применении цифровых технологий — систем автоматического мониторинга, предиктивной аналитики, машинного обучения и цифровых двойников. Эти инструменты позволяют не только собирать и анализировать данные в реальном времени, но и выявлять скрытые закономерности, предсказывать поведение системы и рекомендовать оптимальные действия для поддержания стабильного и эффективного режима работы. Рассмотрим всесторонний анализ возможностей цифровизации цеха измельчения и обоснование концепции внедрения цифрового помощника — интеллектуальной системы поддержки операторских решений. Такая система должна выполнять функции сбора, интеграции, анализа и визуализации технологических данных, а также предоставления пользователю рекомендаций по оптимизации параметров

ISSN 3030-3907

работы оборудования. Предлагаемый подход направлен на повышение производительности, снижение простоев, минимизацию потерь и формирование базы для перехода к автономному управлению процессом [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ.

Рассмотрим архитектуру цифрового помощника, ключевые компоненты системы, применяемые методы анализа данных, а также ожидаемые эффекты от внедрения данной технологии в условиях реального производства.

Измельчение руды является одним из наиболее ресурсоёмких и критически важных процессов в технологической цепочке гидрометаллургического завода. По оценкам отраслевых исследований, на операции измельчения приходится от 40 до 50% общего потребления электроэнергии на предприятии. Это делает процесс ключевым объектом для оптимизации с целью повышения энергоэффективности, снижения себестоимости продукции и устойчивого использования ресурсов [2].

Высокая энергоёмкость обусловлена необходимостью доведения руды до заданной крупности, при которой обеспечивается максимальное извлечение ценных компонентов в последующих стадиях — например, флотации или цианирования. Однако на практике параметры измельчения не всегда выдерживаются с должной точностью. Погрешности в управлении приводят либо к недоизмельчению, либо к "перемолу" руды. В первом случае значительная часть ценных минералов остаётся недооткрытой, ухудшая показатели извлечения и увеличивая потери в хвостах. Во втором — избыточное измельчение приводит к образованию шлама, снижающему эффективность классификации и извлечения, а также к чрезмерному износу оборудования и перерасходу энергии.

Таким образом, разработка и внедрение цифрового помощника для поддержки операторских решений в цехе измельчения представляется актуальной, научно обоснованной и практически значимой задачей, способной внести весомый вклад в развитие интеллектуального производства в рамках цифровой трансформации горно-металлургической отрасли [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Цифровизация начинается с получения достоверной информации о состоянии и параметрах работы оборудования. Для этого внедряются различные устройства и технологии: Датчики вибрации, температуры, тока, уровня и загрузки мельниц, датчики температуры, токовые датчики, датчики уровня, датчики загрузки мельниц, онлайн-анализаторы гранулометрии

ISSN 3030-3907

пульпы. Также используются лазерные или ультразвуковые технологии, а также видеокамеры с алгоритмами обработки изображений.

Это позволяет мгновенно реагировать на отклонения в процессе измельчения, поддерживать заданный диапазон крупности продукта, повысить эффективность сепарации и извлечения полезного компонента. Также система видеонаблюдения и акустического мониторинга используется для визуального контроля состояния узлов и агрегатов, а также загрузки оборудования.

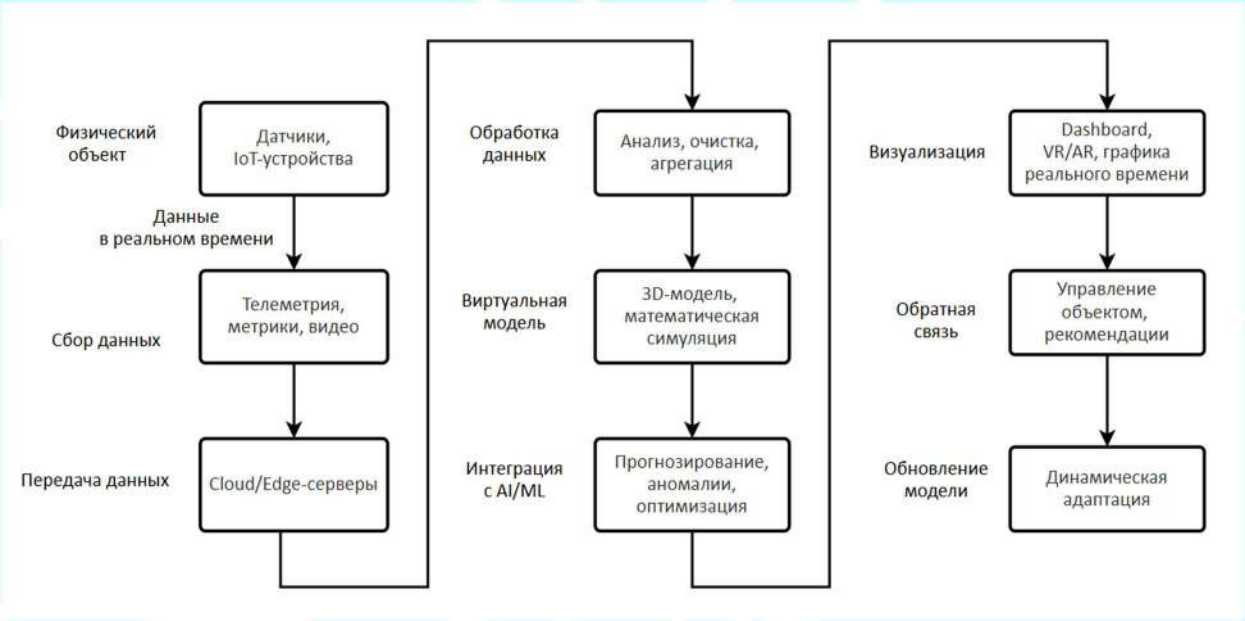
Собранные данные необходимо не только регистрировать, но и обрабатывать в реальном времени интегрируя их в АСУ ТП, например используя системы SCADA для централизованного управления или PLC (Programmable Logic Controllers) — промышленные контроллеры, управляющие локальными исполнительными механизмами (клапанами, насосами, питателями) [4].

После чего система позволит управлять оборудованием дистанционно, выполнять логику автоматического регулирования, получать аварийные сигналы и проводить диагностику неисправностей, а также визуализацию технологического процесса в реальном времени. В следствии чего оператор получает графическое представление технологической схемы в интерактивной форме. Это облегчает принятие решений, сокращает время на реакцию в случае отклонений и минимизирует влияние человеческого фактора. На следующем этапе данные становятся основой для аналитики и прогнозирования износа футеровки и шаров.

Системы предиктивной аналитики используют историю нагрузок, вибрации и работы мельницы для оценки оставшегося ресурса футеровки. Это позволяет заранее планировать замену футеровки, избегать внеплановых простоев и продлить ресурс оборудования. Такой подход снижает число аварий, оптимизирует график ремонтов и минимизирует влияние человеческого фактора [5].

Цифровой двойник цеха измельчения его модель производственного процесса, построенная на основе реальных данных. В рисунке №1 представлена архитектура цифрового двойника цеха измельчения [6].

ISSN 3030-3907



Также для цифровизации цеха измельчения предлагается внедрение цифрового помощника — интеллектуального программного модуля, предоставляющего оператору рекомендации в режиме реального времени. Это позволит получать подсказки по корректировке подачи руды, воды, шаров, сигналы о возможных неисправностях и автоматическую адаптацию параметров на основе исторических данных [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Цифровизация цеха измельчения позволяет повысить извлечение золота без капитальных вложений в оборудование, снизить энергозатраты и производственные простои, повысить прозрачность и управляемость процессов, обеспечить адаптивное управление технологическим режимом.

Цифровой подсказчик — перспективный инструмент в рамках концепции «умной фабрики», способный существенно повысить эффективность работы измельчительных участков.

ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бойбутаев С.Б., Кадиров Е.Б., Саттаров О.У.У. Разработка экспертной системы управления процессом измельчения и классификации на основе нейронных сетей//Современные материалы, техника и технологии issn: 2411-9792 – 2017. – С. 9-16.

2. Zavala O., et al. Application of Digital Twin in Mineral Processing Plants // IFAC PapersOnLine. – 2022. – Vol. 55, Issue 10. – pp. 1501–1506. DOI: 10.1016/j.ifacol.2022.07.404

3. Кожевников С.В., Сурков В.Г., Потапов А.С. Интеллектуальные системы управления в горной промышленности. – М.: Горная книга, 2021. – 288 с.

4. Savolainen J., Haapalainen A., Heiskanen K. Intelligent control of grinding circuits using artificial intelligence methods // Minerals Engineering. – 2021. – Vol. 171. – 107082. DOI: 10.1016/j.mineng.2021.107082

ISSN 3030-3907

5. Miruna-Elena I., et al Digital Twin—A Review of the Evolution from Concept to Technology and Its Analytical Perspectives on Applications in Various Fields, Applied Sciences 2024, *14*(13), 5454 *https://doi.org/10.3390/app14135454*
6. Кирсанов Д.В. Цифровые двойники в горнодобывающей отрасли: подходы, архитектура, кейсы внедрения // Горный журнал. – 2023. – №5. – С. 58–64.
7. Abdunazarova D. Fuzzy extreme regulation of pyrolysis reactor in the production of acetylene //Journal of Advances in Engineering Technology. – 2025. – №. 2. – pp. 27-32. *https://doi 10.24412/2181-1431-2025-2-27-32*

ISSN 3030-3907