



АВТОМАТИЗАЦИЯ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (УКЛСТ-2000-20)

Саттаров Олим [0000-0002-2652-2902], **Сухроб Шарофиддинов,**
Хакназаров Фирдавс

¹Навоийский государственный горно-технологический университет, Нукусский государственный технический университет, доцент кафедры Автоматизация технологических процессов, E_mail: olim81@bk.ru,

²Навоийский государственный горно-технологический университет, магистрант, E_mail: sharofiddinovsuxrob@gmail.com

³Навоийский государственный горно-технологический университет, магистрант, E_mail: firdavshaqnazarov@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы и практические аспекты циклично-поточных процессов технологий, включая внедрение систем онлайн-мониторинга параметров оборудования, предиктивной аналитики для прогнозирования отказов и оптимизации режимов работы, а также использование циклично-поточных 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 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: циклично-поточных процессов технологий, онлайн-мониторинг параметров оборудования, цифровой двойник, цифровая трансформация, интеграция интеллектуальных систем.

Annotatsiya. Ushbu maqolada texnologik jarayonlarning siklik-oqimli (ya'ni, takrorlanuvchi va doimiy oqimdagil) usullarining istiqbollari va amaliy jihatlarlari ko'rib chiqilgan. Xususan, uskunalar parametrlarini onlayn monitoring qilish tizimlarini joriy yetish, nosozliklarni bashorat qilish va ish holatlarini optimallashtirish uchun tezkor tahlil, shuningdek, ishlab chiqarish jarayonlar ketma-ketligi virtual muhitda modellashtirish va sinovdan o'tkazish uchun siklik-oqimli raqamli egizaklardan foydalanish kabi texnologiyalar muhokama qilinadi. Jarayon ishlamagan vaqtda loyihalar va ishlab chiqarish sinovlari doirasida olingan natijalar tahlil qilinadi, ular asosiy samaradorlik ko'rsatkichlarining yaxshilanishini namoyon etadi bularga: unumdorlikning oshishi, har bir birlik mahsulotga to'g'ri keladigan energiya sarfining kamayishi, to'xtab qolishlar sonining qisqarishi va avtomatlashtirish darajasining oshish kabilardir. Maqolada alohida e'tibor olingan jihat aqlli tizimlarni mavjud korxona infratuzilmasiga integratsiya qilish va raqamli transformatsiya sharoitida ishlash orqali xodimlarni tayyorlash masalalariga qaratilgan. Taqdim etilgan yechimlar nafaqat sexning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini yaxshilashga, balki kelajakda texnologik jarayonni to'liq avtonom boshqarishga o'tish uchun poydevor yaratishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: siklik-oqimli texnologik jarayonlar, uskuna parametrlarini onlayn monitoring qilish, raqamli egizak, raqamli transformatsiya, aqlli tizimlarni integratsiyalash.

Abstract. The article examines the prospects and practical aspects of cyclical technological processes, including the implementation of equipment parameters online monitoring systems, predictive analytics for failure forecasting and optimization of operating modes, as well as the use of cyclical flow counterparts for modeling and testing production scenarios in a virtual environment. The results obtained within pilot projects and production tests are analyzed, demonstrating improvements in key performance indicators: increased productivity, reduced specific energy costs, reduced downtime, and increased automation levels. Special attention was paid to the issues of integrating intelligent systems into the existing infrastructure of the enterprise and training personnel for work in the context of digital transformation. The presented solutions allow not only to improve the technical and economic indicators of the workshop's operation but also to create a foundation for transitioning to fully autonomous technological process management in the future.



Keywords: cyclic flow processes of technologies, online monitoring of equipment parameters, digital twin, digital transformation, integration of intelligent systems.

Введение

Предлагается применению 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 циклично-поточных процессов технологий цеха измельчения и обоснование концепции внедрения цифрового помощника интеллектуальной системы поддержки операторских решений. Такая система должна выполнять функции подготовка пуска двигателя, предпусковая сигнализация, масляный выключатель “Включить”, масляный выключатель “Отключить”, нарушения запуска конвейера, предупреждения сиреной (температура масло станции, давления масло станции), сбора, интеграции, анализа и визуализации технологических данных, а также предоставления пользователю рекомендаций по оптимизации параметров работы оборудования. Предлагаемая разработка, подход направлен на повышение производительности, снижение простоев, минимизацию потерь и формирование базы для перехода к автономному управлению процессом коверных линии [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.

Дробления руды является одним из наиболее ресурсоёмких и критически важных процессов в технологической цепочке гидрометаллургического завода. По оценкам отраслевых исследований, на операции дробления 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 измельчение, флотации или цианирования. Однако на практике параметры, заданные крупности, не всегда выдерживаются с должной точностью. Погрешности в управлении приводят либо к крупности, либо к “недодоставку” руды. В первом случае значительная часть ценных минералов остаётся недооткрытой, ухудшая показатели извлечения и увеличивая потери в хвостах. Во-вторых, перебои в поставках руды, а также чрезмерные простои оборудования приводят к снижению эффективности добычи. Таким образом, разработка и внедрение цифрового помощника для поддержки конвейер операторских решений в цехе крупного дробления 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

Технология циклично-поточных процессов начинается с получения достоверной информации о состоянии и параметрах работы оборудования. Для этого внедряются различные устройства и технологии датчики металлоискателя, датчики температуры масла в положении, датчики положения течи, датчики уровня износа ленты, датчики загрузки, катящейся конвейера, онлайн-анализаторы наклона конвейера. Также используются лазерные или ультразвуковые технологии, а также мониторы с алгоритмами обработки изображений.

Это позволяет мгновенно реагировать на отклонения в циклично-поточных процессе технологий, поддерживать заданный диапазон крупности продукта, повысить эффективность полезного. Также система 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 [4].

После этого система позволяет дистанционно управлять оборудованием, выполнять логику автоматического регулирования, получать аварийные сигналы, проводить диагностику неисправностей, а также осуществлять визуализацию технологического процесса в реальном времени. Вследствие этого оператор конвейера получает графическое представление технологической схемы в интерактивной форме. Это облегчает принятие решений, сокращает время реакции при отклонениях и минимизирует влияние человеческого фактора. На следующем этапе данные становятся основой для аналитики и прогнозирования износа ленты и редукторов.

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

Цифровой цех крупного дробления имеет модель наклонного конвейера процесса, построенную на основе реальных данных. На рисунке 1 представлена архитектура цифрового двойника цеха крупного дробления [6].

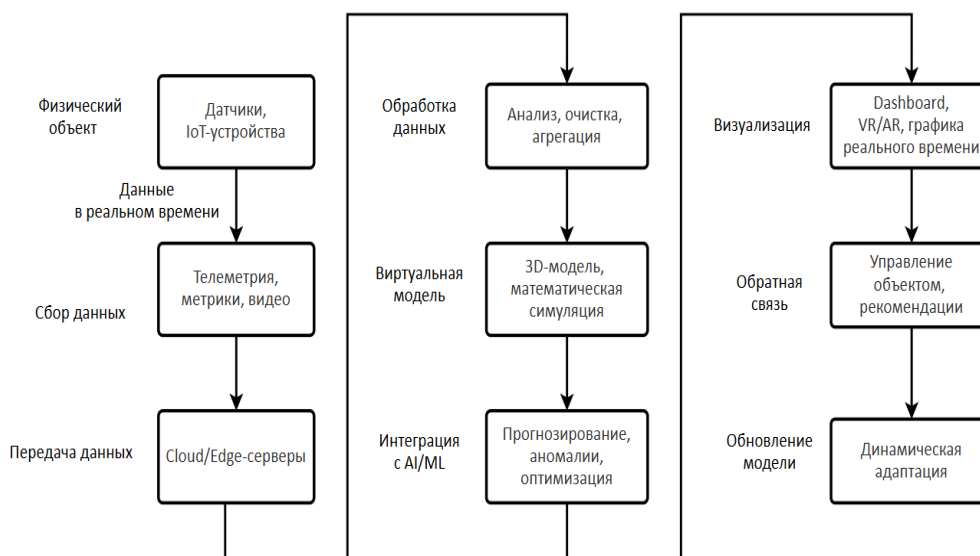


Рис.1. Архитектура цифрового двойника цеха крупного дробления.

Состояния параметров вышеуказанной технологии, запуск и остановка ленточного конвейера, защита от перегрузки, включение или выключение системы смазки, предотвращение перегрева электродвигателей, приводящих в движение конвейерную ленту, и другие параметры были выражены в виде логических подходов цифровой двойник технологии в среде программирования TIA PORTAL следующими кодами.

Готовность конвейера

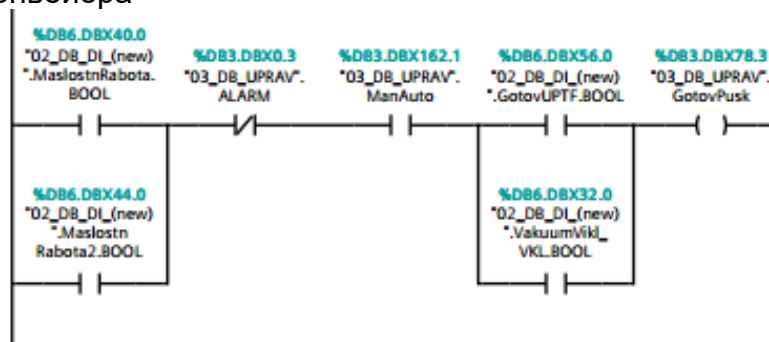


Рис.2. Готовность конвейера.

Логика, разработанная для автоматического управления технологическим процессом с помощью цифрового двойника при запуске системы рисунок -2.

Пуск конвейера

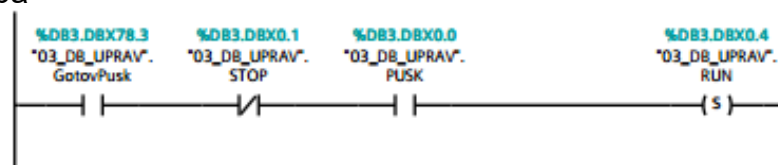


Рис. 3. Логика, написанная в программе TIA PORTAL для запуска мотора, электрического двигателя при пуске системы.

Предпусковая сигнализация

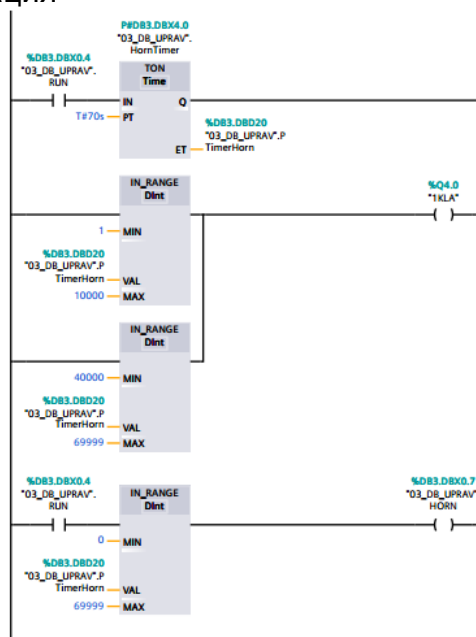


Рис. 4. Логика, написанная для системы сигнализации, определяющей исправность или неисправность системы перед запуском конвейерной ленты.



Также для цифровизации цеха крупного дробления наклонного конвейера предлагается внедрение цифрового помощника интеллектуального программного модуля, который в режиме реального времени предоставляет оператору конвейера рекомендации. Это позволит получать подсказки по подаче и доставке руды, сигналы о возможных неисправностях, а также автоматически адаптировать параметры на основе исторических данных [7].

Заключение

Цифровизация цеха крупного дробления наклонного конвейера позволяет повысить извлечение золота без капитальных вложений в оборудование, снизить энергозатраты и производственные простои, повысить прозрачность и управляемость процессов, а также обеспечить адаптивное управление технологическим режимом.

Цифровой подсказчик перспективный инструмент в рамках концепции «умной фабрики», способный существенно повысить эффективность работы конвейерной линии участка крупного дробления.

Список использованной литературы:

- [1]. 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
- [2]. Wills B.A., Napier-Munn T. Wills' Mineral Processing Technology. – 9th Edition. – Elsevier, 2016. – 512 p.
- [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
- [5]. Rajamani R.K., Herbst J.A. Optimal control of a ball mill grinding circuit—I. Grinding circuit modeling and simulation // Powder Technology. – 1991. – Vol. 68, Issue 1. – pp. 33–42. DOI: 10.1016/0032-5910(91)80134-O
- [6]. Кирсанов Д.В. Цифровые двойники в горнодобывающей отрасли: подходы, архитектура, кейсы внедрения // Горный журнал. – 2023. – №5. – С. 58–64.
- [7]. Герасимов С.Ю., Шевченко А.В. Системы поддержки принятия решений в горной промышленности: от SCADA до машинного обучения // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2022. – №3(45). – С. 75–83.