

Цифровая трансформация металлургической отрасли. Разработка и внедрение цифрового двойника цеха рудоподготовки



Александр Юрьевич Романовский

ООО «НТР», Москва, Российская Федерация
info@ntr.ai

Аннотация. В статье рассматривается пример внедрения системы цифрового двойника цеха рудоподготовки на российском металлургическом предприятии. Данная система обеспечивает комплексный анализ и отслеживание движения сырья, начиная с момента поступления его на комбинат и заканчивая загрузкой в доменные печи.

Ключевые слова: цифровая трансформация, металлургия, рудоподготовка, цифровой двойник, оптимизация производства

Для цитирования: Романовский А. Ю. Цифровая трансформация металлургической отрасли. Разработка и внедрение цифрового двойника цеха рудоподготовки // Рациональное освоение недр. 2024. № 6. С. 48–51. doi: 10.26121/ 2219-5963-80-6-48–51.

doi: 10.26121/ 2219-5963-80-6-48–51

Scientific and Technical Support
RESEARCH AND PRACTICE ARTICLE

Digital transformation of the metallurgical industry. Development and integration of the digital twin of the ore pretreatment shop

Aleksandr Yu. Romanovskii

NTR LLC, Moscow, Russian Federation
info@ntr.ai

Annotation. The article discusses the integration of a digital twin system for an ore preparation shop at a Russian metallurgical enterprise. This system provides comprehensive analysis and tracking of the movement of raw materials from entering the plant to loading into blast furnaces.

Keywords: Digital transformation, Metallurgy, Ore pretreatment, Digital twin, Production optimization

For citation: Romanovskii A Yu. Digital transformation of the metallurgical industry. Development and integration of the digital twin of the ore pretreatment shop. *Ratsional'noye osvoeniye nedr* [Mineral Mining & Conservation]. 2024;(6):48–51. (In Russ). doi: 10.26121/ 2219-5963-80-6-48–51.

ВВЕДЕНИЕ

Российские горно-металлургические предприятия стремятся повышать качество выпускаемой продукции, и для этого им необходимо контролировать качество поступающего сырья. Последние достижения в области цифровизации и моделирования обеспечивают возможность управления поступлением сырья (агломерат, кокс, окатыш) на металлургическое предприятие и движением его по технологическому тракту. Тщательное отслеживание и анализ этих процессов позволяют улучшить мониторинг и хранение сырья.

ПРОБЛЕМАТИКА

Металлургическое сырье поступает на комбинат и хранится в бункерах и силосах, каждый из

которых предназначен для определенного типа материала. Проблема заключается в необходимости обеспечить полную прослеживаемость сырья от момента его поступления до загрузки в доменную печь. Однако, как показывает практика, управление шихтованием (смешиванием) сырья различных составов и сертификатов, а также его перемещение внутри бункеров и силосов является сложной задачей. Для этого требуется точная информация о количестве и химическом составе сырья на всех этапах хранения и движения.

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ И ФОРМИРОВАНИЕ РЕШЕНИЯ

Цифровой двойник цеха рудоподготовки — это современная система, позволяющая отслеживать движение сырья по технологическому тракту от

момента поступления на комбинат до загрузки в доменную печь и моделировать движение различных порций сырья внутри стационарных бункеров и силосов (рис. 1). В структуре двойника центральное место занимает математическая модель, описывающая механику движения сырья внутри бункеров и силосов, разработанная на базе экспериментов с использованием RFID-меток и 3D-лидара.

Система может интегрироваться с различными сервисами определения параметров сырья, например, с сервисом гранулометрии, с поточным химическим анализатором, с системой видеонаблюдения и др. Метрики системы реализованы в программную систему визуализации данных Grafana, что обеспечивает прозрачность и «источинность» движения всех типов сырья.

По результатам многочисленных экспериментов с RFID-метками выявлена следующая закономерность: после образования воронки верхние порции сырья выходят раньше, при этом грани-

цы между слоями размываются, что соответствует активному перемешиванию частиц. Такой способ представления называется континуальным методом. Упрощенная визуализация процесса высыпания сырья из стационарного бункера при равномерной (идеальной) загрузке представлена на рис. 2.

Основой анализа движения и смешивания сырья в бункерах и силосах является передаточная функция, которая позволяет вести вычисления движения слоев сырья в реальном времени. Таким образом, каждые 20 секунд осуществляется прогнозируемый расчет химического состава порций сырья на основе проведенного моделирования и анализа.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ И ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ

Создание математической модели основывалось на проведенных исследованиях с использованием RFID-меток и 3D-лидаров. Это позволило разработать передаточную функцию, описываю-

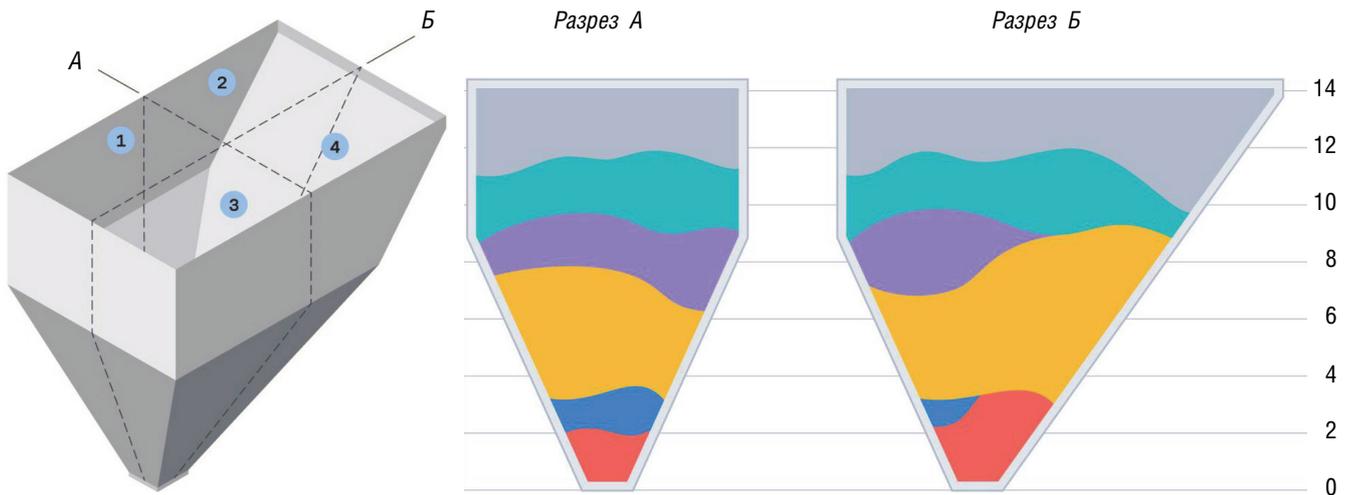


Рис. 1. Положение каждой порции сырья, загружаемой в стационарный бункер, зависит от одной из четырех возможных точек загрузки
Fig. 1. Each batch position of raw materials loaded into a stationary hopper depends on one of the four possible loading points.

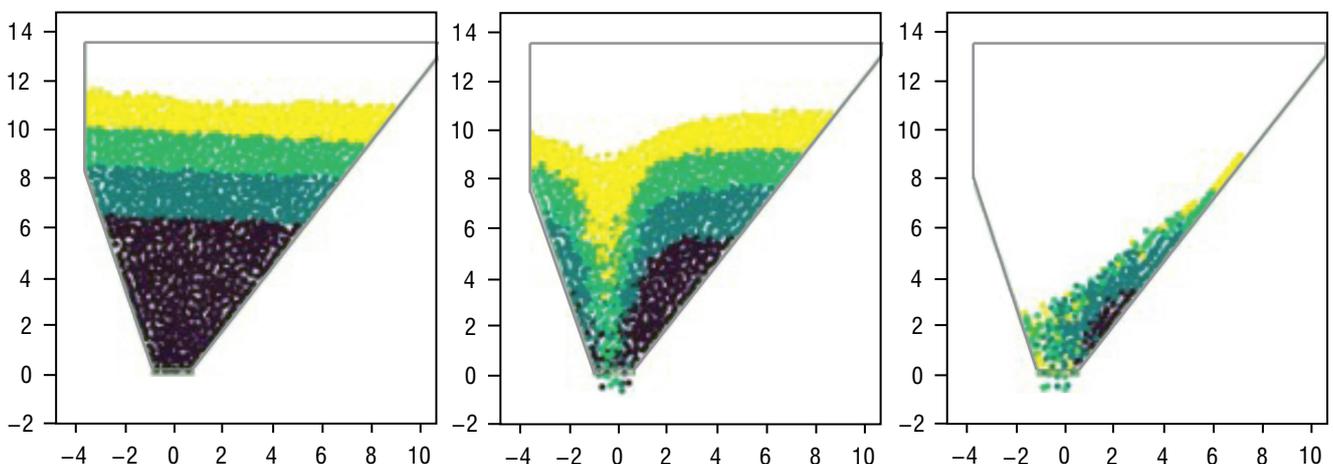


Рис. 2. Движение слоев в бункере: в начале – слева, в конце высыпания – справа
Fig. 2. Moving the layers in the hopper: on the left – at the beginning after loading, on the right – at the end of unloading.

шую механику движения сырья внутри стационарных бункеров и силосов (рис. 3). Данная функция связывает входные данные, такие как загрузка сырья, с выходными показателями, например, выгрузка из бункеров.

Для экспериментов на производстве были подготовлены тысячи кусков породы с прикрепленными под защитным слоем ленты RFID-метками (рис. 4). Эксперименты проводились в разное время года, чтобы учесть фактор сезонности и налипания сырья на стендах бункеров.

ОСНОВНЫЕ СЦЕНАРИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ

Система цифрового двойника цеха рудоподготовки предназначена как для диспетчеров цеха, так и для технологов. Сценарии использования системы заключаются в мониторинге сырья на всех этапах, начиная с поступления его на комбинат и заканчивая загрузкой в стационарные бун-

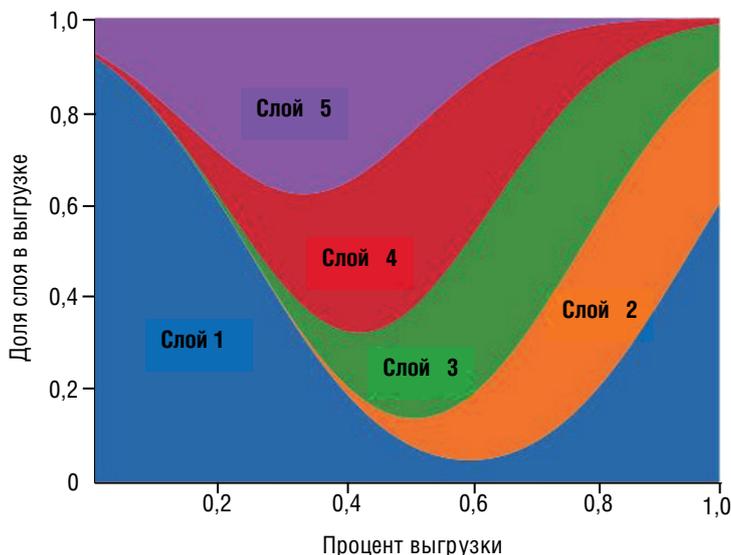


Рис. 3. Схематичное изображение слоев породы в передаточной функции

Fig. 3. Layout view of rock layers in the transfer function.



Рис. 4. Образцы породы с «встроенными» в них RFID-метками

Fig. 4. Rock samples with RFID tags "embedded" in them.

керы и силосы и выгрузкой из них. Кроме того, имеется возможность вести мгновенный и ретроспективный анализ смешивания, а также рассчитывать прогноз химического состава каждой порции на выгрузку различного типа сырья, что необходимо для оптимизации процессов шихтования доменной печи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ

С внедрением системы цифрового двойника металлургическая компания получает возможность прогнозировать химический состав сырья, направляемого в доменную печь, что способствует повышению качества выплавляемого чугуна. Система эффективно осуществляет мониторинг движения сырья в реальном времени и сигнализирует о непредусмотренных сценариях смешивания различного типа сырья в стационарных бункерах и силосах. Кроме того, система обеспечивает эффективный сбор данных для расчета материального баланса сырья, что очень важно для производственной деятельности предприятия. Таким образом, внедрение цифровых решений в процессы рудоподготовки позволяет значительно повысить качество продукции и, как следствие, общую эффективность и устойчивость предприятия на рынке.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ

Внедрение цифрового двойника рудоподготовки открывает новые горизонты для металлургической отрасли. Успех этого решения позволяет рассматривать возможность его тиражирования на другие доменные печи. Система может стать ключевым элементом в производственной деятельности, обеспечивая специалистов необходимыми данными. Цифровой двойник, интегрированный со SCADA-системами, дает возможность избежать ошибок на этапах загрузки сырья, а также предоставляет расширенные возможности для анализа и предотвращения потенциальных ошибок персонала. Становится реально возможным сценарий подготовки порций сырья с заранее заданными (требуемыми) параметрами с учетом поступления материала в бункер и выхода из него.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровой двойник цеха рудоподготовки становится важной частью металлургического производства, позволяющей не только повысить эффективность управления сырьем, но и внедрить новые подходы к оп-

тимизации работы доменных печей. Это решение открывает новые возможности для металлургических компаний, стремящихся улучшить качество продукции.

О КОМПАНИИ НТР

ООО «НТР» с 2000 г. разрабатывает различные информационные системы и программные решения, а в последние годы концентрируется на разработках для крупнейших предприятий горно-металлургического и машиностроительного комплексов, а также для органов государственного управления. Основные экспертизы компании включают

машинное обучение, математическое моделирование, нейронные сети, беспилотные аппараты, высоконагруженные системы и системы видеоаналитики. Непосредственно для горно-металлургической отрасли компания разрабатывает и внедряет такие решения, как гранулометрия, цифровой паспорт сырья, умный поиск по нормативной документации для сотрудников (RAG-системы). Среди клиентов компании НТР – лидеры промышленности: ЕВРАЗ, КАМАЗ, НЛМК, Норникель, Газпромнефть и др. Офисы ООО «НТР» расположены в Томске и Москве, штат компании – более 170 сотрудников. **РОН**

Информация об авторе(-ах)

Романовский А. Ю. – директор по ключевым аккаунтам ООО «НТР», 127521 Москва, 12-й проезд Марьиной рощи, 9, стр. 1, этаж 2. Тел. +7(495)-230-08-99. Сайт компании: <https://ntr.ai/>

Прохождение статьи

Статья поступила в редакцию 04.12.2024; согласована 14.12.2024; принята к публикации 16.12.2024.

Information about the author(-s)

Romanovskii A.Yu. – Director of key accounts, NTR LLC, building 1, floor 2, 9/1, 12th proezd Mar'inoi roshchi, Moscow, 127521, Russia. Tel. +7(495)-230-08-99. Company website: <https://ntr.ai/>

Article history

The article was submitted 4 December 2024; agreed 14 December 2024; accepted for publication 16 December 2024

РЕКЛАМА

**Внедряем системы
на компьютерном зрении
для контроля качества**

Точность > 96%

О других наших проектах по оптимизации процессов в промышленности можно узнать, перейдя на сайт по QR-коду