УДК 004.9:622.33

Гордиенко Алексей Денисович, студент
Научный руководитель: Тюленева Татьяна Александровна, к.э.н., доцент
(КузГТУ, г. Кемерово)

Aleksey D. Gordienko, student
Scientific supervisor: Tatyana A. Tyuleneva, c.e.s., docent
(KuzSTU, Kemerovo)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАТФОРМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ШАХТ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ РЕШЕНИЯ

COMPARATIVE ANALYSIS OF PLATFORMS FOR CREATING DIGITAL TWINS OF COAL MINES: DOMESTIC AND FOREIGN SOLUTIONS

Выполнен сравнительный анализ платформ для создания цифровых двойников угольных шахт. Рассмотрены архитектурные подходы и функциональные возможности отечественных и зарубежных решений. Выявлены ключевые разрывы в модулях геологического и вентиляционного моделирования. Обоснована перспективность гибридных платформ для условий Кузбасса.

A comparative analysis of platforms for creating digital twins of coal mines has been carried out. Architectural approaches and functional capabilities of domestic and foreign solutions have been examined. Key gaps in the geological and ventilation modeling modules have been identified. The potential of hybrid platforms for the conditions of the Kuzbass region has been substantiated.

Формирование цифрового двойника угольной шахты предполагает построение распределенной экосистемы, объединяющей геологическое, вентиляционное, горнотехническое и диспетчерское моделирование в единый контур принятия решений. При рассмотрении конкретных решений, представленных на рынке, обращает на себя внимание следующее обстоятельство. Зарубежные платформы обладают многолетним опытом внедрения на крупнейших шахтах мира — BHP, Rio Tinto, Vale, Glencore, Anglo American — однако в текущих условиях их использование на объектах критической информационной инфраструктуры в России невозможно [1-4]. Платформа Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE Mining, представляющая собой флагманское решение французской корпорации,

включает развитые модули геологического моделирования GEOVIA, горнотехнического проектирования и оптимизации производственных процессов. Решения Siemens для управления горными операциями (Minerals Operation Management Solution, SIMINE), ориентированные на интеграцию с промышленными системами автоматизации Siemens, обладают развитыми возможностями цифровизации производственных процессов. Hexagon Mining (HxGN MinePlan для геологического моделирования и HxGN MineOperate для диспетчеризации горно-транспортных комплексов) специализируется на планировании и операционном управлении. Rockwell Automation (Allen-Bradley, FactoryTalk) ориентирован на промышленную автоматизацию и предиктивную аналитику и обладает развитыми возможностями интеграции с промышленным оборудованием. Тем не менее все эти решения в настоящее время недоступны для российского рынка в силу санкционных ограничений и требований законодательства о критической информационной инфраструктуре.

Отечественные платформы — решения ГК «Цифра», ГЕОМИКС, аналитический комплекс «АэроСеть», программный комплекс «Вентиляция 2» (Шахтэксперт-Системы) — активно развиваются, тем не менее ни одна из них пока не способна полностью заменить зарубежные аналоги по всему спектру функций. Платформа ГК «Цифра» представляет собой модульное отечественное решение, ориентированное на горнодобывающую промышленность и включающее модули диспетчеризации, геологического моделирования и планирования горных работ. Платформа имеет опыт внедрения на ряде российских предприятий, однако функциональные модули геологического моделирования пока уступают зарубежным аналогам. ГЕОМИКС — отечественная горно-геологическая информационная система (ООО «ГЕОМИКС», холдинг «РТ-Инжиниринг»), активно развивающаяся и имеющая опыт применения на российских месторождениях, однако пока не достигшая уровня зрелости зарубежных аналогов Micromine и Datamine в части моделирования сложных геологических условий. Зарубежные платформы, как правило, не соответствуют требованиям российского законодательства в области защиты критической информационной инфраструктуры и не сертифицированы регуляторами. Отечественные платформы изначально проектируются с учетом этих требований, однако вопросы кибербезопасности требуют постоянного внимания в процессе эксплуатации. Интеграция различных модулей цифрового двойника, обмен данными между локальными и облачными компонентами, использование беспроводных сетей передачи данных в подземных выработках — все это создает дополнительные векторы потенциальных кибератак и требует разработки специализированных механизмов защиты.

Анализ международного опыта позволяет выделить ряд существенных уроков для Кузбасса. Австралийские горнодобывающие

компании BHP, Rio Tinto, Fortescue Metals, являясь мировыми лидерами в области цифровизации, достигли успеха во многом благодаря масштабным инвестициям в цифровые технологии и активному сотрудничеству в рамках отраслевых инициатив и консорциумов, объединяющих горнодобывающие компании, технологические корпорации и научные организации (например, Electric Mine Consortium, партнёрство с CSIRO). Канадские компании Teck Resources и Barrick Mining активно внедряют технологии цифровых двойников, и их опыт подтверждает важность открытых стандартов обмена данными (например, Universal Scene Description). Ключевыми барьерами импортозамещения выступают институциональные факторы: эффект блокировки, кадровый дефицит, отсутствие отраслевых стандартов, психологическое сопротивление персонала. Разрешение противоречия между технологическим суверенитетом и промышленной безопасностью требует поэтапной миграции с приоритетным развитием модулей, непосредственно влияющих на безопасность. Международный опыт свидетельствует, что успех цифровизации достигается через системную координацию на уровне отрасли, активную роль государства и тесное взаимодействие науки и бизнеса. Выявленные в ходе исследования фундаментальные противоречия требуют осмысленного отраслевого диалога и выработки сбалансированных подходов.