

УДК 338.2 DOI: 10.14451/1.223.9

Цифровые двойники в угольной промышленности

© 2023 **Крыленко Елизавета Евгеньевна**

кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики в энергетике и промышленности. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва.

E-mail: GudkovaYY@mpei.ru

© 2023 **Каманина Маргарита Андреевна**

студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва.

E-mail: KamaninaMA@mpei.ru

© 2023 **Демидова Анастасия Максимовна**

студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва.

E-mail: DemidovaAM@mpei.ru

© 2023 **Охлопков Данила Олегович**

студент. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва.

E-mail: OkhlopkovDO@mpei.ru

Ключевые слова: угольная промышленность России, цифровые двойники, SWOT-анализ, PESTLE-анализ, искусственный интеллект.

Статья посвящена исследованию вопроса внедрения цифровых двойников в угольную отрасль России. В статье проведен комплексный анализ перспектив применения цифровых двойников, рассмотрены направления использования цифровых двойников в угольной промышленности, выявлены позитивные и негативные факторы, а также проведены SWOT-анализ и PESTLE-анализ. Рассмотрены успешные практики российских угольных компаний по применению цифровых двойников в своей деятельности.

В последние годы все чаще можно услышать о переходе к высокотехнологичным производствам. Информационные технологии активно развиваются и уже дают возможность хранения, сбора и передачи информации, позволяют ее анализировать. Активно поднимается вопрос о переходе к «умному производству», основанному на сетевых информационных технологиях (ИТ), а благодаря объединению автоматизированных технологий появляется возможность вза-

имодействия между реальным и виртуальным мирами. Такой подход принято называть «цифровой двойник» (ЦД).

Цифровые двойники в угольной промышленности – это виртуальные модели или копии реальных объектов и процессов в угольной промышленности, созданные на основе цифровых технологий, отражающие все свойства и характеристики объекта в настоящий момент времени.

Цифровые двойники могут быть использованы для множества целей, таких как оптимизация производственных процессов, управление ресурсами, обучение персонала, анализ данных, моделирование и прогнозирование, а также симуляция различных сценариев.

Одна из ключевых технологий, используемых при создании цифровых двойников в угольной промышленности – это сеть «интернет вещей» (Internet of things (IoT)), которая позволяет собирать данные от различных датчиков и устройств в режиме реального времени. Эти данные затем анализируются и моделируются с использованием алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ), чтобы создать точную виртуальную модель объекта или процесса с применением цифровых имитационных 3D-моделей и «цифровых двойников» (Digital Twins) [3].

В угольной отрасли цифровые двойники применяются в следующих направлениях:

1. Мониторинг и управление оборудованием.
Цифровые двойники могут использоваться для мониторинга состояния оборудования в режиме реального времени, а также для предсказания возможных отказов и проведения профилактических мероприятий. Это позволит снизить простои и затраты на ремонт и обслуживание оборудования.
2. Оптимизация логистики.
Цифровые двойники могут помочь оптимизировать логистические процессы, связанные с транспортировкой угля, такие как маршрутизация транспорта, оптимизация загрузки

и разгрузки, а также планирование и прогнозирование спроса. Это позволит снизить затраты на логистику и повысить эффективность поставок.

3. Моделирование и оптимизация производственных процессов.

Цифровые двойники могут быть использованы для моделирования производственных процессов угольной промышленности, таких как процессы добычи, обогащения и переработки угля. Они позволят определить оптимальные параметры процессов, прогнозировать производственные показатели и оптимизировать использование ресурсов.

4. Обучение персонала.

Так же цифровые двойники могут быть использованы для обучения персонала угольной промышленности, особенно новых сотрудников. Они могут предоставлять виртуальные симуляции и тренинги, которые помогут сотрудникам освоить сложные процессы и операции, без необходимости реального взаимодействия с оборудованием.

5. Оптимизация использования ресурсов.

Цифровые двойники могут помочь оптимизировать использование ресурсов в угольной промышленности, таких как энергия, вода, топливо и другие материалы. Они могут предоставлять данные и аналитику, позволяющие идентифицировать возможности снижения потребления ресурсов и повышения эффективности и экологической устойчивости производства.

6. Управление безопасностью.

Цифровые двойники могут использоваться для моделирования и оптимизации безопасности на производственных объектах угольной промышленности. Они могут предоставлять виртуальные тренинги по безопасности, симулировать различные сценарии аварийных ситуаций и способствовать повышению безопасности на объектах.

7. Управление окружающей средой.

Цифровые двойники могут быть использованы для моделирования и мониторинга воздействия угольной промышленности на окружающую

щую среду: выбросы загрязняющих веществ, распределение водных ресурсов и воздействие на биоразнообразие. Они могут помочь в анализе и оптимизации экологической устойчивости производства и соблюдении норм и стандартов экологической безопасности.

8. Разработка новых технологий.

Цифровые двойники могут быть использованы для разработки и оптимизации новых технологий и инноваций в угольной промышленности, таких как автоматизация процессов, внедрение робототехники, использование датчиков и аналитики данных. Они могут помочь в создании виртуальных прототипов, тестировании новых технологий и снижении рисков при внедрении инноваций.

9. Исследования и разработки.

Цифровые двойники могут быть использованы в исследованиях и разработках в угольной промышленности, таких как моделирование геологических структур, прогнозирование резервов угля, определение оптимальных месторождений для разработки и оптимизация процессов. Само собой, различные исследования и разработки являются важным аспектом угольной промышленности, так как они позволяют разрабатывать новые методы добычи, обработки и использования угля более эффективными и экологически устойчивыми способами. В этом процессе цифровые двойники могут играть значительную роль [5].

Для оценки цифровых двойников в контексте развития угольной промышленности был проведен SWOT-анализ (анализ сильных и слабых сторон, возможностей и угроз).

Сильные стороны (Strengths):

1. Увеличение эффективности.

Цифровые двойники позволяют создавать виртуальные модели угольных месторождений и производственных процессов, что помогает оптимизировать добычу, обработку и использование угля, увеличивая эффективность производственных операций.

2. Снижение затрат.

Моделирование и виртуальное тестирование на основе цифровых двойников позволяют снизить затраты на реальные испытания и тестирования новых технологий и процессов, что может сэкономить ресурсы и снизить расходы.

3. Улучшение экологической устойчивости.

Цифровые двойники могут помочь моделировать воздействие угольной промышленности на окружающую среду и оптимизировать процессы, чтобы снизить негативное воздействие и повысить экологическую устойчивость.

Слабые стороны (Weakness):

1. Ограниченная точность.

Цифровые двойники основаны на данных и моделях, которые могут быть ограничены по точности. В зависимости от качества данных и моделей, цифровые двойники имеют ограниченную точность в прогнозах, что может повлиять на их эффективность и надежность.

2. Сложность разработки.

Создание и поддержание цифровых двойников требует высокой технической экспертизы и ресурсов. Разработка и поддержка цифровых двойников являются сложными и затратными процессами, что может стать ограничением для некоторых компаний или организаций.

3. Опасения в отношении безопасности данных.

Цифровые двойники могут содержать стратегически важные данные о месторождениях угля, производственных процессах и других аспектах угольной промышленности, утечка которых может вызвать опасения.

Возможности (Opportunities):

1. Проектирование и инженерия.

Цифровые двойники могут помочь в разработке и проектировании новых продуктов, устройств, технологий и систем. Они позволяют производить тестирование и прогнозировать результаты, что помогает снизить затраты на производство и повысить эффективность процесса.

2. Оптимизация процессов.

Цифровые двойники могут использоваться для оптимизации процессов, например, в производстве, логистике, энергетике и других отраслях. Они позволяют предвидеть результаты определенных изменений, таких как изменение настроек оборудования или режимов работы, что позволяет повысить эффективность производства и сократить издержки.

3. Улучшение обслуживания и ремонта.

Цифровые двойники могут быть использованы для улучшения обслуживания и ремонта систем, оборудования или транспортных средств, т.к. они позволяют предвидеть возможные неисправности и предотвратить их до их возникновения, что может существенно снизить время простоя и увеличить надежность систем.

4. Анализ и оптимизация производительности.

Цифровые двойники могут быть использованы для анализа и оптимизации производительности систем, например, для повышения эффективности работы оборудования или процессов. Также они могут быть использованы для мониторинга и улучшения энергоэффективности систем.

5. Обучение машин.

Цифровые двойники могут быть использованы для обучения машин, таких как роботы или автономные транспортные средства, поскольку позволяют создавать виртуальные среды, в которых машины могут тренироваться и тестироваться до момента запуска на практике.

Угрозы (Threats):

1. Кибербезопасность.

Цифровые двойники могут стать целью хакеров и злоумышленников, которые могут использовать их для получения конфиденциальной информации или проведения кибератак.

2. Недостоверность данных.

Цифровые двойники могут быть использованы для создания поддельных данных и фейковых новостей, которые могут привести к дезинформации и распространению ложной информации (например, дипфейки).

3. Потеря работоспособности.

Если цифровой двойник является единственным источником данных, то его потеря или неисправность может привести к серьезным последствиям в различных сферах.

Подводя итог, можно сказать, что SWOT-анализ, состоящий из влияния угроз, представленных в таблице 1 и влияния возможностей, представленных в таблице 2 показывает, что цифровые двойники имеют большой потенциал, но их использование требует осторожности и внимательности. В качестве мероприятий, направленных на реализацию возможностей за счет сильных сторон, можно предложить:

1. Стимулирующие мероприятия по использованию цифровых двойников для оптимизации и автоматизации процессов проектирования и разработки продуктов и устройств, внедрение систем мониторинга и управления производственными процессами на основе цифровых двойников.

2. Использование усиленных паролей и механизмов аутентификации для защиты доступа к цифровым двойникам, шифрование конфиденциальной информации, передаваемой и хранящейся в цифровых двойниках, разработка алгоритмов машинного обучения для обнаружения фейковых данных и их исключения.

3. Обучение обслуживающего персонала работе с цифровыми двойниками для повышения эффективности и надежности обслуживания.

4. Создание виртуальной среды для обучения машин, включая тренировочные наборы данных, симуляторы и тестовые среды.

Для оценки влияния цифровых двойников на угольную промышленность, учитывая широкий спектр внешних факторов, был проведен PESTLE-анализ (анализ политических, экономических, социальных, технологических, юридических и экологических аспектов).

Политические факторы (Political):

1. Регулирование.

Таблица 1. Влияние угроз на цифровые двойники в угольной промышленности.

Возможные последствия	Разрушение	Критическое состояние	Тяжелое состояние	Легкие ушибы
Вероятность				
Высокая		1	2	
Средняя	3			
Низкая				

Таблица 2. Влияние возможностей на цифровые двойники в угольной промышленности.

Вероятность исполнения	Сильная	Умеренная	Маленькая
Степень влияния			
Высокая	1,2		
Средняя	3,5	4	
Низкая			

Государственное регулирование и законодательство могут оказывать влияние на внедрение и использование цифровых двойников в угольной промышленности. Политические решения, такие как ограничения на добычу угля, стандарты экологической безопасности или поддержка цифровых технологий, могут влиять на развитие цифровых двойников в данной отрасли.

2. Геополитическая стабильность.

Политическая стабильность в регионах с угольными месторождениями может также влиять на развитие цифровых двойников. Геополитические конфликты, санкции или другие политические факторы могут создавать неопределенность и ограничения для внедрения цифровых технологий в угольной промышленности.

Экономические факторы (Economic):

3. Экономическая конъюнктура.

Состояние экономики, включая уровень инвестиций, спрос на уголь и финансовые ресурсы компаний, могут влиять на развитие цифровых двойников в угольной промышленности. В периоды экономического спада или нестабильности инвестиции в цифровые технологии могут быть сокращены или отложены.

4. Бюджетные ограничения.

Бюджетные ограничения компаний и орга-

низаций угольной промышленности могут также влиять на развитие цифровых двойников. Ограничение расходов на исследования и разработки, IT-инфраструктуру или внедрение новых технологий могут сдерживать возможности внедрения и развития цифровых двойников.

5. Экономическая целесообразность.

Оценка экономической целесообразности внедрения цифровых двойников в угольной промышленности также является важным фактором. Вопросы о рентабельности, окупаемости вложений, планировании бюджета и финансовых ограничениях могут повлиять на решение о развитии цифровых двойников.

Социальные факторы (Social):

1. Отношение общества.

Отношение общества к угольной промышленности и ее влиянию на окружающую среду может влиять на развитие цифровых двойников. Общественное мнение и давление на промышленность в отношении экологических аспектов могут повлиять на регулирование и внедрение цифровых технологий в угольной отрасли.

2. Трудовые ресурсы.

Доступность и квалификация трудовых ресурсов также могут оказать влияние на внедрение цифровых двойников. Наличие спе-

циалистов в области цифровых технологий с необходимыми знаниями, умениями и навыками и их готовность к применению новых технологий могут влиять на скорость развития цифровых двойников в угольной промышленности.

Технологические факторы (Technological):

1. Технологический прогресс.

Развитие технологий, связанных с цифровыми двойниками, таких как технологии сбора, хранения и анализа данных, машинное обучение, искусственный интеллект и другие, может оказать влияние на развитие цифровых двойников в угольной промышленности. Новые технологические возможности могут улучшить эффективность, безопасность и экологическую устойчивость угольной промышленности.

2. Инфраструктура.

Наличие необходимой IT-инфраструктуры, такой как сети передачи данных, облачные вычисления и другие технологические ресурсы, также может оказывать влияние на развитие цифровых двойников в угольной промышленности.

Юридические факторы (Legal):

Нормативно-правовые акты в области защиты окружающей среды, отраслевые правила и нормы, лицензирование и разрешительные процедуры могут оказывать влияние на развитие цифровых двойников в угольной промышленности. Необходимость соблюдения соответствующих юридических требований и регулирований может повлиять на внедрение цифровых технологий в угольной отрасли и их долгосрочную устойчивость.

Экологические факторы (Environmental):

1. Экологическое воздействие.

Угольная промышленность имеет существенное воздействие на окружающую среду, включая выбросы парниковых газов, загрязнение воздуха, воды и почвы, разрушение природных экосистем. Внедрение цифровых

двойников может быть одним из способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, соответствующие экологические ограничения и требования могут оказывать влияние на их развитие.

2. Устойчивость.

Развитие цифровых двойников в угольной промышленности также может быть связано с вопросами устойчивости и экологической ответственности. Компании могут сталкиваться с требованиями снижения выбросов парниковых газов, использования возобновляемых источников энергии, соблюдения экологических стандартов и других устойчивых практик, что может оказывать влияние на развитие цифровых двойников в угольной отрасли.

Данные факторы могут оказывать весомое влияние на развитие цифровых двойников в угольной промышленности, определяя возможности и ограничения их внедрения.

Оценка PESTLE-факторов позволяет компаниям и организациям учитывать внешние факторы в процессе разработки стратегии внедрения цифровых двойников, принимать во внимание риски и возможности, а также адаптироваться к изменяющейся внешней среде.

Можно предположить, что цифровые двойники будут продолжать развиваться и находить применение в угольной промышленности в ближайшие годы. Внедрение цифровых технологий, таких как «интернет вещей» (IoT), искусственный интеллект, анализ данных и другие, могут помочь угольным компаниям оптимизировать производственные процессы, повысить эффективность, снизить операционные расходы, сократить воздействие на окружающую среду и улучшить безопасность труда.

Одним из возможных сценариев развития цифровых двойников в угольной промышленности может быть повышение автоматизации и автоматизированного мониторинга в производстве, используя сенсоры, ИИ и аналитику данных для непрерывного контроля и оптимизации

производственных процессов, прогнозирования и предотвращения возможных аварий и сбоев. Это может способствовать повышению производительности и снижению операционных рисков.

Другим сценарием может быть улучшение процессов экологического мониторинга и снижение воздействия на окружающую среду. Цифровые двойники могут быть использованы для моделирования экологических процессов, определения оптимальных режимов работы, оценки воздействия на окружающую среду и принятия мер для снижения негативного воздействия на неё.

Однако возможны риски и ограничения развития цифровых двойников в угольной промышленности из-за ряда сложностей, таких как сложность интеграции различных данных и систем, а также проблема конфиденциальности и безопасности данных. Кроме того, регуляторные и политические факторы могут также оказывать влияние на развитие цифровых двойников в угольной промышленности. Изменения в законодательстве, стандартах экологической безопасности, требованиях к отчетности и других аспектах регулирования могут влиять на способы использования цифровых технологий и их распространение в отрасли.

На данный момент уже есть успешные примеры того, как российские угольные компании внедряют различные инновационные подходы и цифровые технологии в свою добычу и переработку угля, но движение всей угольной отрасли в отношении цифровизации осуществляется достаточно медленно.

Так, например, разрез ООО СП «Барзасское товарищество», находящийся в Кемеровской области и построенный компанией АО «Стройсервис» фокусирует свое внимание на удаленном управлении шахтой при помощи внедрения роботизированных технологий, реализует комплексные программы цифровой трансформации бизнеса, а также тестирует виртуальный угольный разрез [2]. Таким образом цифровой двойник максимально приближен к реальности

и помогает в онлайн-формате реализовывать различные процессы, связанные с добычей угля. Так же данная система может обеспечивать работу геологической программы K-MINE, которая помогает в различных производственных процессах (расчет расстояний транспортировки, вычисление объемов различными способами в карьере и на складах и прочее). На самой 3D-модели отображаются различные тектонические нарушения и геометрическое строение угольных пластов.

В центре внимания компании АО «СУЭК» – повышение эффективности бизнес-процессов и улучшение качества работы. Внедрение цифровых технологий позволяет убрать ненужные затраты и оперировать бизнес-процессами в режиме реального времени. Для подземных горных работ существует единый диспетчерский центр, который в свою очередь помогает в управлении работой всех шахт АО «СУЭК-Кузбасс», также используется специальное приложение горного мастера, которое необходимо для контроля бригад и планирования их работ [6]. Само приложение объединено с данными, которые в режиме реального времени поступают с проходческих комбайнов. Это помогает повысить уровень контроля простоев и способствует увеличению эффективности работы проходчиков.

На базе АО «Разрез Тугнуйский» происходит активное внедрение системы управления производством. Данная система помогает осуществлять управление ГТО и хозяйственным транспортом, кроме того с помощью технологий появляется возможность оптимизировать работу ГТК и обогащательной фабрики, что, в свою очередь, в дальнейшем должно способствовать увеличению производительности как минимум на 4%.

УК «Кузбассразрезуголь» создала 3D-модель угольного разреза Талдинский на основе данных ГРР. Цифровой двойник включил в себя блочные «макеты» пластов и каркасные модели вмещающих пород. Кроме того, компания перенесла в цифровой формат все скважины, породные отвалы и перспективные для осво-

ения участки месторождения. Создание трёхмерной модели позволило «КРУ» интегрировать все данные о разрезе, полученные в результате геологоразведочных работ. В дальнейшем компания оптимизирует деятельность геолого-маркшейдерского обеспечения и сможет более детально планировать производственные процессы, а также вести учёт запасов и их движения.

Помимо Талдинского, кузбасская компания создаст точные копии разрезов Бачатский и Краснобродский: ещё две 3D-модели должны появиться до конца 2023 года. Ранее в «КРУ» сообщали, что также оцифруют Кедровский, Моховский и Калтанский разрезы [4].

Такие инновационные подходы и цифровые технологии позволяют компаниям увеличить производительность, снизить затраты, повысить качество и безопасность производства, а также улучшить экологические показатели. Однако, важно понимать, что каждая компания имеет свои особенности и требует индивидуального подхода к реализации цифровых решений для наилучшего результата [1].

В заключение можно сказать, что цифровые двойники имеют потенциал для применения

в угольной промышленности, предоставляя новые возможности для оптимизации производства, повышения эффективности и снижения воздействия на окружающую среду. Однако их развитие также связано с вызовами, такими как техническая сложность, вопросы безопасности данных, конфиденциальности и соответствия регуляторным требованиям.

Для успешного внедрения цифровых двойников в угольной промышленности необходимо учитывать все аспекты, включая технические, регуляторные, социальные и экономические. Компании должны быть готовы к внедрению новых технологий, иметь необходимые компетенции сотрудников, обеспечивать безопасность данных и соответствовать регуляторным требованиям.

С учетом общего тренда цифровизации и автоматизации в промышленности, ожидается, что цифровые двойники будут продолжать развиваться и находить свое применение в угольной промышленности при условии правильного подхода и решения всех вызовов. Использование цифровых двойников может способствовать улучшению производственных процессов и устойчивому развитию угольной промышленности.

Библиографический список

1. «Кузбассразрезуголь» создаёт цифровые двойники угольных разрезов / Новости НОЦ Кузбасс. – 2020. – URL: <https://ноц42.рф/tpost/u63p181kok-kuzbassrazrezugol-sozdayot-tsifrovie-dvo?amp=true> (дата обр. 10.05.2023).
2. Жданев О. В., Власова И. М. Вызовы и приоритеты цифровой трансформации угольной отрасли // Уголь. – 2023. – № 1. – С. 62–69. – DOI: 10.18796/0041-5790-2023-1-62-69.
3. Материалы XXII Международного научного симпозиума «Неделя горняка»: Комплексная цифровизация горного производства – взгляд СУЭК.
4. У «КРУ» появился цифровой двойник / dprom.online: Портал для недропользователей. – 2021. – URL: <https://dprom.online/chindustry/u-kru-poyavilsya-tsifrovoy-dvojniki> (дата обр. 10.05.2023).
5. Уровень цифровизации угледобывающих компаний России / Материалы исследования Министерства энергетики РФ и Группы компаний «Цифра».
6. Цифровой двойник горного предприятия. Всё и немного больше / dprom.online: Портал для недропользователей. – 2022. – URL: <https://dprom.online/mtindustry/tsifrovoy-dvojniki-gornogo-predpriyatiya> (дата обр. 10.05.2023).