

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА REGIONAL AND SECTORAL ECONOMICS

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 338.32.053.4

DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-50-59

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ И БИЗНЕС-ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНДУСТРИИ 5.0 В МАЙНИНГЕ 5.0

Абу-Абед Ф.Н.

Тверской государственный технический университет



Информация о статье

Поступила:
12 Сентября 2022 г.

Одобрена после рецензирования:
14 Октября 2022 г.

Принята к публикации:
26 Октября 2022 г.

Ключевые слова: управление, бизнес-проектирование, Индустрия 4.0, Индустрия 5.0, Майнинг 4.0, Майнинг 5.0.

Аннотация.

Развитие социально-управленческой составляющей Четвертой промышленной революции (использование нейросетей и искусственного интеллекта для принятия решений, анализа Больших Данных для планирования и прогнозирования) должно получить новый импульс с приходом Индустрии 5.0 с конца 2020-х гг. Сама человекоцентричная концепция Пятой промышленной революции предполагает развитие экологически и социально ответственного инвестирования горнодобывающих предприятий, переход к которым возможен при опоре на полную цифровизацию и искусственную интеллектуализацию управления бизнес-процессами и их проектирования. В связи с этим предметом исследования стал анализ применения технологий интеллектуального управления и бизнес-проектирования в Майнинге 5.0. Гипотеза исследования заключается в том, что развитие горнодобывающих отраслей экономики на основе технологий Индустрии 5.0 (Майнинг 5.0) позволит выйти за те рамки производительности труда, которые характерны для Индустрии 4.0 и Майнинга 4.0, во многом из-за новых возможностей совершенствования организационно-управленческих механизмов и бизнес-проектирования. В статье представлен обзор технологий Майнинга 5.0 в системе управления бизнес-процессами горнодобывающих предприятий, показана их связь с ESG-инвестированием.

Для цитирования: Абу-Абед Ф.Н. Применение технологий интеллектуального управления и бизнес-проектирования индустрии 5.0 в майнинге 5.0 // Экономика и управление инновациями. 2022. № 3 (22). С. 50-59. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-50-59

APPLICATION OF INTELLIGENT MANAGEMENT TECHNOLOGIES AND BUSINESS DESIGN OF INDUSTRY 5.0 IN MINING 5.0

Fares Abu-Abed

Tver State Technical University



Article info

Submitted:
12 September 2022

Approved after reviewing:
14 October 2022

Abstract.

The development of the social management component of the Fourth Industrial Revolution (the use of a neural network and artificial intelligence for decision-making, Big Data analysis for planning and forecasting) should receive a new impetus with the advent of Industry 5.0 from the late 2020s. The very human-centric concept of the Fifth Industrial Revolution involves the development of environmentally and socially responsible investment in mining enterprises, the transition to which is possible based on full digitalization and artificial intellectualization of business process management and design. The research hypothesis turns out to be that the development of the mining sectors of the economy based on Industry 5.0 technologies

Accepted for publication:
26 October 2022

Keywords:
management, business design, Industry 4.0, Industry 5.0, Mining 4.0, Mining 5.0.

(Mining 5.0) makes it possible to determine the scope of labor productivity, characteristic volumes for Industry 4.0 and Mining 4.0, largely due to new opportunities for improving organizational and managerial blocking and business design. The article previously provided an overview of Mining 5.0 technologies in the business process management system of mining enterprises, including their relationship with ESG investment.

For citation: Abu-Abed F.N. Application of intelligent management technologies and business design of industry 5.0 in mining 5.0. *Economics and Innovation Management*, 2022, no. 3 (22), pp. 50-59. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-50-59

1 Introduction / Введение

Сегодня основным вектором прорывного инновационного развития выступает переход Индустрии 4.0 в Индустрию 5.0 в ходе разворачивающейся Пятой научно-технической революции. Ее отличительной особенностью является прежде всего человекоориентированность на промышленное производство, благодаря которому в процесс планирования и бизнес-проектирования оказываются вовлеченными не только производители, но и потребители [1]. Особую важность это приобретает в сырьевом секторе экономики, в котором создаются промежуточные продукты, и каждый производитель оказывается и потребителем. Наряду с этим Индустрия 5.0 продолжает преемственность эволюции информационных технологий и их конвергенции с биотехнологиями в ходе создания продвинутого искусственного интеллекта и нейросетевой обработки данных, цифровых двойников и клонирования мыслительных процессов людей в вычислительные способности современных компьютеров [2].

С точки зрения процессов организационного планирования и проектирования, Индустрия 5.0 означает фокус внимания на процессах потребителей и на поиске путей их оптимизации, тогда как Индустрия 4.0 нацелена на автоматизацию и оптимизацию бизнес-процессов производителей, на сокращение их издержек [3].

В ходе развития Индустрия 4.0 вывела на первое место глобальную цифровизацию данных, гибкие автоматизированные производственные системы и промышленных роботов, а также Интернет Вещей, давший старт эффективной кооперации людей и машин. В концепции Индустрии 5.0 заложено создание интеллектуальных управляющих систем, аналогичных человеческому мозгу по уровню когнитивных навыков, в ходе создания продвинутых информационных структур в виде знаний и ноу-хау [4]. Развитие нейро-цифровых экосистем позволит в ближайшем будущем формировать мета-когнитивные системы управления производством [5].

Ядро технологий Индустрии 4.0 включает в себя Интернет Вещей, искусственный интеллект, облачную инфраструктуру и Большие Данные [6]. Эволюция данных технологий в рамках Индустрии 5.0 будет осуществляться, по мнению ряда авторов, в направлении развития виртуальной и дополненной реальности – средств интеллектуальной автоматизации производственных процессов, создания т.н. «биоинспирированных» технологий материалов со встроенными датчиками («Умными сенсорами»), создания цифровых двойников физических процессов в реальном времени для моделирования сложных производственных систем, а также расширения спектра кибербезопасных технологий работы с Большими Данными, совместимыми с большинством мобильных систем [7].

Путь эволюции Индустрии 5.0 показан на Рис. 1 [8].

На Рис. 1 наглядно показано, что начальный этап развития Индустрии 5.0 начался через четыре года после первого внедрения Индустрии 4.0 как предвестник сингулярности и возникновения новых объектов – интеллектуальных киберсистем, экосистем нового мета-уровня [9]. Концепция парадигмы Индустрии 5.0 включает в себя следующие положения [8]:

– человекоцентричная экономика в целом и промышленность в частности. Индустрия 5.0 по сути должна дать ответ на вопрос, что технология может сделать для людей (конечных производителей и потребителей), а не что люди могут сделать, используя технологии (самозарождающийся инновационный процесс). Иными словами, высокая производительность роботов имеет ограничение в форме нетворческого функционирования – результата критического мышления,

которым обладают люди. Поэтому, взаимодействуя с людьми, «умные» роботы смогут выйти за границы эффективности, характерные для Индустрии 4.0 [10];

– радикальное сокращение воздействия промышленности, в особенности добывающих отраслей, на окружающую среду в ходе развития циркулярной экономики, снижение потребления энергии, выбросов парниковых газов и твердых отходов;

– беспрецедентный уровень защиты экономики от техногенных аварий, природных катаклизмов и угроз кибербезопасности, поддержка критически важной инфраструктуры во время экономических кризисов.



Рис. 1. Эволюция промышленных технологий: от Индустрии 1.0 к Индустрии 5.0

Fig. 1. The evolution of industrial technologies: from Industry 1.0 to Industry 5.0

2 Materials and Methods / Материалы и методы

Технологии Индустрии 5.0 могут найти применение в горнодобывающем комплексе для значительного сокращения ресурсопотребления с одновременным ростом рентабельности и устойчивости поставок сырья на рынки.

Применение технологий Индустрии 5.0 для разработки истощенных, глубинных и труднодоступных месторождений нацелено на решение назревших организационных и социально-экономических проблем. Этого невозможно добиться без изменения бизнес-моделей добывающих компаний, которые должны претерпеть глубокую цифровую трансформацию. Такие тенденции можно объяснить тем, что компании склонны выбирать вертикально интегрированную модель. Вместе с тем у большинства горнодобывающих компаний уровень автоматизации производства и управления низкий, и состоявшийся в 2010-х гг. переход к Майнингу 4.0 носил фрагментированный характер. Удачными мировыми примерами диффузии технологий признаются следующие.

Во-первых, проект «Шахта будущего», инициированный в 2008 г. концерном «Рио Тинто Групп» (Rio Tinto Group, Австралия), занятым в добыче железной руды. На карьерах компании, расположенных на континенте, в 2021 г. более 80 из 400 автосамосвалов работают в безлюдном автономном режиме, перевозя треть добываемой руды [11] (Рис. 2).

Во-вторых, использование системы когнитивных вычислений IBM добывающей компании «Голдкорп» (Goldcorp, Канада) для создания единой цифровой модели добычи полезного ископаемого [13].

В-третьих, золотодобывающая компания «Бэррик Голд» (Barrick Gold, Канада), с 2016 г. активно внедряет искусственный интеллект, разрабатываемый компанией Cisco Systems в интегрированном управлении процессами на руднике Кортес в США (штат Невада) [14].

В-четвертых, металлургическая компания «Эс-Ай Ай-Ди» (SI ID Company, Бразилия) продемонстрировала снижение себестоимости добычи железной руды на 35%, сокращение потребления воды до 93% за счет внедрения технологии Промышленного Интернета Вещей [15].

Во многом фрагментированный характер внедрения технологий Индустрии 4.0 связан с необходимостью объединения усилий всех стейкхолдеров – добывающих компаний, государства, гражданского общества и академических кругов – в системной цифровой трансформации добывающих предприятий [16].



Рис. 2. Пример действия безлюдных роботизированных автосамосвалов (Рио Тинто, Австралия). Авторский коллаж из фото официального сайта компании «RioTinto» [12]

Fig. 2. An example of the operation of unmanned robotic dump trucks (Rio Tinto, Australia). Author's collage from the photo of the official site of the RioTinto Company [12]

Для разработки стратегии перехода к Майнингу 5.0 как к платформе внедрения технологий Индустрии 5.0 в добывающем секторе необходимо внедрение технологий интеллектуального планирования на основе многокритериального принятия управленческих и инженерных решений. Для этого инновационные технологии, объединяемые на платформе Индустрии 5.0, обладают всеми возможностями применения средств искусственного интеллекта, нейросетей, машинного зрения для дальнейшего развития управления отдельными процессами и предприятиями в целом (Рис. 3).

Характер эволюции цифровых технологий, стремительно развивающихся с начала Четвертой промышленной революции, при переходе к Индустрии 5.0 имеет вид перехода от технических к социальным системам, к числу которых относится управление бизнес-процессами, интегрированное с автономным действием оборудования. Это позволяет создать условия для следующего витка роста производительности с выходом за существующие пределы (характерные для Индустрии 4.0), основанного на развитии интеллектуального управления и бизнес-проектирования.

3 Results and discussion / Результаты и обсуждение

Интеллектуализация управления предприятиями и проектирования бизнес-процессов на основе технологий Индустрии 5.0 включает в себя ряд ключевых трендов.

Одним из таких трендов является переход к новому режиму применения цифровых бизнес-процессов и методов оперативного управления горнодобывающими предприятиями – Облачному Майнингу. Он представляет собой интеграцию их основного бизнеса (добычи полезных ископаемых) с информационными технологиями управления логистикой, финансами, персоналом посредством использования облачных технологий, ресурсов и сервисов. В результате формируется новый режим управления кластерами горнодобывающей промышленности, основанный на пяти столпах: цифровые данные, цифровые технологии, цифровые таланты, облачная форма бизнеса и кооперации. На облачной платформе можно реализовать моделирование всех

производственных процессов, оценку запасов, проектирование горных работ и планирование продаж (Рис. 4) [17].



Рис. 3. Эволюция инновационных технологий Индустрии 5.0
 Fig. 3. The evolution of innovative technologies Industry 5.0



Рис. 4. Управление производством и эксплуатацией горнодобывающего предприятия в режиме «Облачного майнинга»
 Fig 4. A mine production and operation management under Cloud Mining mode

Метод выбора и приоритизации стратегий «умного» горнодобывающего предприятия с использованием многокритериального принятия решений, основанного на нечеткой логике, является перспективным для внедрения машинного обучения. Это требует становления новой бизнес-модели оптимизации производственных процессов, в сердце которой лежит гибкая методология парадигмы «Индустрия 5.0», учитывающей важность передачи части функций управления процессами от людей к машинам [18]. Необходимый для этого массив данных для анализа на

самом детальном уровне принимаемых машинами (искусственным интеллектом) решений можно создать с применением промышленного Интернета Вещей. Это требует создания ключевых индикаторов производительности (KPI) для руководителей и инженеров разного уровня, связанных с передачей части функций оперативного планирования и управления машинам, на основе агрегированной информации в цепочке причинно-следственных связей. Согласованная операционная оптимизация всех производственных, логистических, финансовых операций предприятия может быть достигнута за счет использования современных решений для регистрации данных Интернета Вещей и анализа в реальном времени.

Технологии Майнинга 5.0, применяемые в планировании горных работ и бизнес-проектировании предприятий, позволяют повысить степень извлечения ценного минерального сырья, которое считается второстепенным. Сегодня эти процессы могут быть затруднены вследствие нахождения совместно с основным сырьем, зачастую гораздо менее ценным и с низкой концентрацией. Точное прогнозирование производственного и экономического потенциала извлечения вторичного минерального сырья требует применения вычислительного инструмента с использованием модели анализа решений с несколькими критериями, в качестве которого могут быть использованы такие системы, как Analytical Hierarchical Process (АНР) и Python [19].

Важная роль применения машинного обучения и прогнозной аналитики – результатов внедрения технологий Майнинга 5.0 – заключается в снижении производственных травм в горной промышленности. Для этого требуется глубокий анализ факторов производственного травматизма с использованием таких моделей машинного обучения, как DAFW, ANN, MSE. В частности, DAFW является показателем серьезности травмы, это также может помочь руководству персонала спланировать замену работника при возникновении несчастного случая. Использование метода синтетического увеличения данных (Майнинг Данных, или Data Mining) с использованием встраивания слов позволяет решить проблему фрагментированной информации, получаемой от «умных» сенсоров и систем машинного зрения [20]. В целом ориентиры перехода к Индустрии 5.0 связаны как с технологической конвергенцией, так и с человекоцентричной экономикой, что в целом означает приоритет охраны жизни и здоровья работников, а также сокращение воздействия человека на окружающую среду.

Концепция Индустрии 5.0 представляет собой идеальную платформу для перехода к производству замкнутого цикла в горнодобывающей промышленности, которая сегодня интенсивно использует дефицитные ресурсы – воду и невозобновляемое ископаемое топливо. При этом горнодобывающий сектор наряду с энергетикой является важным источником выбросов парниковых газов. Такие бизнес-проекты, как очистка и опреснение воды, улавливание угольной пыли и сжигание в энергетических установках метана из угольных пластов, спроектированные на основе анализа Больших Данных и нейросетей, выступают значимым шагом к экономике замкнутого цикла в национальном и глобальном масштабе.

Наряду с рециклингом ресурсов в горнодобывающей отрасли ее будущее связано с пост-майнингом, который должен обеспечить процветание кластеров с высокой концентрацией майнинга после завершения извлечения полезных ископаемых. Переход к пост-майнингу требует интеллектуального проектирования принципиально новых систем для детального анализа состояния закрытых подземных объектов и поврежденных земельных участков, химического состава воды и почвы. Это предполагает задействование всех технологических ресурсов Майнинга 4.0 – машинного зрения, дронов и инспектирующих роботов, нейросетей и облачных вычислений для анализа больших объемов данных.

Успех перехода к возобновляемой экономике – императиву промышленного развития 21 в. – невозможен без внедрения максимально чистых методов добычи полезных ископаемых («зеленый майнинг», Green Mining). На основе технологии Интернета Вещей можно собирать и анализировать данные об энергопотреблении в режиме реального времени для повышения нагрузки на добывающий комплекс, которую необходимо контролировать на протяжении всех производственных цепочек, в нижней части которых находится сырье. Применение Больших Данных позволяет реализовать стратегию перехода к «зеленому майнингу» благодаря анализу данных об интенсивности использования сырья и энергии в обрабатывающих отраслях [21].

Сегодня интерес к инвестированию традиционных технологий в минерально-ресурсном секторе уступает место ESG-инвестициям, которые отдают приоритет экологической, социальной и

корпоративной ответственности [22]. При этом исследование цифровой трансформации горнодобывающего комплекса ограничено в анализе факторов устойчивости. Чтобы максимально использовать преимущества технологий Индустрии 5.0 в переходе горнодобывающих предприятий к устойчивому развитию, инвесторы и собственники должны планировать ESG-оптимизацию всех бизнес-операций на этапе планирования привлечения инвестиций. Например, исследование перспектив внедрения промышленного Интернета Вещей на горнодобывающих предприятиях должно включать перспективы внедрения технологий замкнутого водопользования, более эффективного использования энергии, повышение безопасности труда.

Взаимосвязь между цифровой трансформацией и «зелеными» инновациями применительно к добывающим предприятиям заключается, во-первых, в общей технологической архитектуре, благодаря которой достижения Индустрии 5.0 и «зеленого майнинга» совместно меняют технологический, экологический и экономический ландшафт отрасли; во-вторых, именно цифровая трансформация является ключом от роста отдачи от «зеленых» инвестиций в Майнинге 5.0, поскольку создаваемая цифровая экосистема является привлекательной для ESG-инвесторов и быстро становится «золотым стандартом» инвестирования в промышленность.

Европейский опыт поддержки принятия решений свидетельствует о большом потенциале создания консорциума промышленных и академических экспертов для разработки интегрированной системы цифрового моделирования перехода от добычи угля к оживлению ландшафта, развития инфраструктуры сельского хозяйства и обрабатывающей промышленности, производства энергии из отходов угледобычи. TRIM4Post-Mining – проект, финансируемый H2020/RFCS, позволяет интерактивно изучать альтернативные сценарии планирования землепользования, со встраиванием актуальных данных в переходную модель информационной системы (Transition Information Modelling System, TRIM) на основе технологий виртуальной и дополненной реальности [23].

Переход от Майнинга 4.0 к Майнингу 5.0 наряду с усилением ESG-фактора инвестирования и социальной ответственности компаний затрагивает еще один аспект конвергентно-технологического развития извлечения минерального сырья – биохимический метод. Наконец, развитие пост-майнинга и ESG-трансформации в контексте Майнинга 5.0 сегодня идет по пути долгосрочного глобального развития горных работ в 21 в. как человеко- и природоцентричного благодаря экспансии конвергентных технологий и развитию пост-майнинга на уровне как лучших практик, так и приоритетов деловой этики. Внедрение технологий замкнутого цикла в горнодобывающем секторе, биохимических технологий извлечения минеральных ресурсов, суперсовременных технологий охраны здоровья работников позволит ускорить переход к «зеленому майнингу» и устойчивому развитию.

4 Conclusion / Заключение

Таким образом, развитие интеллектуального бизнес-проектирования как составляющей процесса перехода от Майнинга 4.0 к Майнингу 5.0, помимо опоры на конвергенцию информационных, когнитивных, нано- и биотехнологий, выводит промышленность на место значимой социальной силы, что позволит поставить благополучие работников в промышленности в центр интересов стейкхолдеров. Сегодня стало очевидно, что концепции Бережливого Производства, Индустрии 5.0, Майнинга 5.0 будут проектироваться крупнейшими добывающими компаниями как части единой системы, поскольку они имеют общие цели и единую конвергентно-технологическую платформу. Социальная основа Майнинга 5.0 – Общество 5.0 – формируется в условиях полной компьютеризации промышленного сектора в развитых экономиках. Главным условием является оптимизация потребления полезных ископаемых на душу населения, что заставляет учитывать долгосрочные прогнозы спроса на них, применяя искусственный интеллект в бизнес-проектировании.

Список источников

1. Аренс Ю.А., Каткова Н.А., Халимон Е.А., Брикошина И.С. Пятая промышленная революция – инновации в области биотехнологий и нейросетей // E-Management. – 2021. – №3. – С. 11-19.
2. Федоров А.А., Либерман И.В., Корягин С.И., Клачек П.В. Технология проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 // IT-Economy. – 2021. – №3. – С. 19-39.

3. Гудяева Л.А. Оценка научно-инновационного потенциала республики Татарстан в глобальном и национальном контекстах: наукометрическое позиционирование региона в технологических парадигмах Индустрий 4.0 и 5.0 // Теоретическая и прикладная экономика. – 2021. – №4. – С. 53-63.
4. Бабкин А.В., Корягин С.И., Либерман И.В., Клачек П.М., Богданова А.А., Сагателян Н.Х. Индустрия 5.0: нейроцифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2022. – №3 (61). – С. 64-85.
5. Черепанов Н.В. Принципы и подходы применения Индустрии 5.0 на предприятии // Инновации и инвестиции. – 2019. – №9. – С. 144-147.
6. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. – New York: Crown Publishing Group, 2016. – 302 p.
7. Leong Y. K., Tan J. H., Chew K. W., Show P. L. Significance of industry 5.0 / In the book: The Prospect of Industry 5.0 in Biomanufacturing. – New York: CRC Press, 2021. – pp. 95-114.
8. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. Управление кросс-отраслевым потенциалом развития в условиях Индустрии 5.0: теория, инструментарий и практические приложения // Экономическое возрождение России. – 2022. – № 2(72). – С. 50-65.
9. Евгеньев Г.Б. Индустрия 5.0 как интеграция Интернета знаний и Интернета вещей // Онтология проектирования. – 2019. – №1 (31). – С. 7-23.
10. Nahavandi S. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution // Sustainability. – 2019. – Vol. 11 (16). – pp. 4371.
11. Suppes R., Feldmann Y. Virtual reality mine: A vision for digitalised mining engineering education / Mining goes Digital: Proceedings of the 39th International Symposium 'Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry' (APCOM 2019). – Wroclaw: University of Wroclaw Press, 2019. – pp. 17-36.
12. Rio Tinto Smart Mining. URL: <https://www.riotinto.com/about/innovation/smart-mining> (последнее обращение: 15.08.2022)
13. Durrant-Whyte H., Geraghty R., Pujol F., Sellschop R. How digital innovation can improve mining productivity. – New York: McKinsey & Company, 2015. – 122 p.
14. Официальный сайт компании «Бэррик Голд» (Barrick Gold). URL: <https://www.barrick.com/English/home/default.aspx> (последнее обращение: 15.08.2022)
15. Официальный сайт компании «Эс-Ай Ай-Ди» (SI ID Company). URL: <http://www.vale.com/EN/Pages/Landing.aspx> (последнее обращение: 15.08.2022)
16. Kagan E.S., Goosen E.V., Pakhomova E.O., Goosen O.K. Industry 4.0. and an upgrade of the business models of large mining companies // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 823. – pp. 012057.
17. Bi L., Wang Z., Wu Z., Zhang Y. A New Reform of Mining Production and Management Modes under Industry 4.0: Cloud Mining Mode // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. – pp. 2781.
18. Mateo F.W., Redchuk A., Tornillo J.E. Industry 5.0 and new business models in mining. Adoption Case of Machine Learning to optimize the process at a copper Semi Autogenous Grinding (SAG) Mill / Proceedings of the 5th European International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. – Rome, 2022. – pp. 1-9.
19. Mammadli A., Barakos G., Islam M.A., Mischo H., Hitch M. Development of a Smart Computational Tool for the Evaluation of Co- and By-Products in Mining Projects Using Chovdar Gold Ore Deposit in Azerbaijan as a Case Study // Mining. – 2022. – Vol. 2. – pp. 487-510.
20. Yedla A., Kakhki F.D., Jannesari A. Predictive Modeling for Occupational Safety Outcomes and Days Away from Work Analysis in Mining Operations // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Vol. 17(19). – pp. 7054.
21. da Silva T.H.H. The circular economy and Industry 4.0: synergies and challenges // Revista de Gestao. – 202. – Vol. 29(8). – pp. 300-313.
22. Feng H., Wang F., Song G., Liu L. Digital Transformation on Enterprise Green Innovation: Effect and Transmission Mechanism // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Vol. 19. – pp. 10614.
23. Benndorf J., Restrepo D.A., Merkel N., John A., Buxton M., Guatame-Garcia A., Dalm M., de Waard B., Flores H., Mollerherm S. TRIM4Post-Mining: Transition Information Modelling for Attractive Post-Mining Landscapes. – A Conceptual Framework // Mining. – 2022. – Vol. 2. – pp. 248-277.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2022 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы

Абу-Абед Фарес Надимович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета международного академического сотрудничества, Тверской государственной технической университет, 170026 наб. Афанасия Никитина, 22, Тверь, e-mail: aafares@tstu.tver.ru

References

1. Arens Ju.A., Katkova N.A., Halimon E.A., Brikoshina I.S. Pjataja promyshlennaja revoljucija – innovacii v oblasti biotekhnologij i nejrosetej [Brikoshina I.S. The fifth industrial revolution - innovations in the field of biotechnology and neural networks]. *E-Management*. 2021. Vol. 3. pp. 11-19.
2. Fedorov A.A., Liberman I.V., Korjagin S.I., Klachek P.V. Tehnologija proektirova-nija nejro-cifrovyh jekosistem dlja realizacii koncepcii Industrija 5.0 [Technology for designing neuro-digital ecosystems to implement the concept of Industry 5.0]. *π-Economy*. 2021. Vol. №3. pp. 19-39.
3. Gudjaeva L.A. Ocenka nauchno-innovacionnogo potenciala respubliki Tatarstan v global'nom i nacional'nom kontekstah: naukometriceskoe pozicionirovanie regiona v tehnologicheskikh paradigmatih Industrij 4.0 i 5.0 [Assessment of the scientific and innovative potential of the Republic of Tatarstan in the global and national contexts: scientometric positioning of the region in the technological paradigms of Industries 4.0 and 5.0]. *Teoreticheskaja i prikladnaja jekonomika = Theoretical and Applied Economics*. 2021. Vol. 4. pp. 53-63.
4. Babkin A.V., Korjagin S.I., Liberman I.V., Klachek P.M., Bogdanova A.A., Sagatelman N.H. Industrija 5.0: nejro-cifrovij instrumentarij strategicheskogo ceopolaganija i planirovanija [Industry 5.0: neuro-digital tools for strategic goal-setting and planning]. *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa = Technical and technological problems of service*. 2022. Vol. 3 (61). pp. 64-85.
5. Cherepanov N.V. Principy i podhody primenenija Industrii 5.0 na predpriyatii [Principles and approaches to the application of Industry 5.0 at the enterprise]. *Innovacii i investicii = Innovations and investments*. 2019. Vol. 9. pp. 144-147.
6. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. New York: Crown Publishing Group, 2016. 302 p.
7. Leong Y. K., Tan J. H., Chew K. W., Show P. L. Significance of industry 5.0 / In the book: *The Prospect of Industry 5.0 in Biomanufacturing*. New York: CRC Press, 2021. pp. 95-114.
8. Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Plotnikov V.A. Upravlenie kross-otraslevym potencialom razvitija v uslovijah Industrii 5.0: teorija, instrumentarij i prakticheskie prilozhenija [Management of cross-industry development potential in the conditions of Industry 5.0: theory, tools and practical applications]. *Jekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = Economic revival of Russia*. 2022. Vol. 2(72). pp. 50-65.
9. Evgenjev G.B. Industrija 5.0 kak integracija Interneta znanij i Interneta veshhej [Industry 5.0 as an integration of the Internet of knowledge and the Internet of things]. *Ontologija proektirovanija = Ontology of design*. 2019. Vol. №1 (31). pp. 7-23.
10. Nahavandi S. *Industry 5.0 – A Human-Centric Solution*. *Sustainability*. 2019. Vol. 11 (16). pp. 4371.
11. Suppes R., Feldmann Y. Virtual reality mine: A vision for digitalised mining engineering education / *Mining goes Digital: Proceedings of the 39th International Symposium 'Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry' (APCOM 2019)*. Wroclaw: University of Wroclaw Press, 2019. pp. 17-36.
12. Rio Tinto Smart Mining. URL: <https://www.riotinto.com/about/innovation/smart-mining> (last access: 15.08.2022)
13. Durrant-Whyte H., Geraghty R., Pujol F., Sellschop R. *How digital innovation can improve mining productivity*. New York: McKinsey & Company, 2015. 122 p.
14. Oficial'nyj sajt kompanii «Bjerrick Gold» [Official site of the company "Berrick Gold"] (Barrick Gold). URL: <https://www.barrick.com/English/home/default.aspx> (last access: 15.08.2022)
15. Oficial'nyj sajt kompanii «Jes-Aj Aj-Di» [The official site of the company "S-I-A-D"]. (SI ID Company). URL: <http://www.vale.com/EN/Pages/Landing.aspx> (last access: 15.08.2022)
16. Kagan E.S., Goosen E.V., Pakhomova E.O., Goosen O.K. Industry 4.0. and an upgrade of the business models of large mining companies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 823. pp. 012057.
17. Bi L., Wang Z., Wu Z., Zhang Y. A New Reform of Mining Production and Management Modes under Industry 4.0: Cloud Mining Mode. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. pp. 2781.
18. Mateo F.W., Redchuk A., Tornillo J.E. Industry 5.0 and new business models in mining. Adoption Case of Machine Learning to optimize the process at a copper Semi Autogenous Grinding (SAG) Mill / *Proceedings of the 5th European International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Rome, 2022. pp. 1-9.
19. Mammadli A., Barakos G., Islam M.A., Mischo H., Hitch M. Development of a Smart Computational Tool for the Evaluation of Co- and By-Products in Mining Projects Using Chovdar Gold Ore Deposit in Azerbaijan as a Case Study. *Mining*. 2022. Vol. 2. pp. 487-510.
20. Yedla A., Kakhki F.D., Jannesari A. Predictive Modeling for Occupational Safety Outcomes and Days Away from Work Analysis in Mining Operations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17(19). pp. 7054.

21. da Silva T.H.H. The circular economy and Industry 4.0: synergies and challenges. *Revista de Gestao*. 2202. Vol. 29(8). pp. 300-313.

22. Feng H., Wang F., Song G., Liu L. Digital Transformation on Enterprise Green Innovation: Effect and Transmission Mechanism. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19. pp. 10614.

23. Benndorf J., Restrepo D.A., Merkel N., John A., Buxton M., Guatame-Garcia A., Dalm M., de Waard B., Flores H., Mollerherm S. TRIM4Post-Mining: Transition Information Modelling for Attractive Post-Mining Landscapes. – A Conceptual Framework. *Mining*. 2022. Vol. 2. pp. 248-277.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2022 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Authors

Fares Abu-Abed – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of International Academic Co-operation, Tver State Technical University, 170026 22 nab. Afanasy Nikitina, Tver, e-mail: aafares@tstu.tver.ru

