

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ECONOMICS

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 330.356.3

DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-5-18

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ЯДРО И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ НА ПЛАТФОРМЕ ИНДУСТРИИ 4.0

Ху Тинтин

Чжунхай Промышленная Компания, КНР



Информация о статье

Поступила:

10 Августа 2022 г.

Одобрена после рецензирования:

27 Сентября 2022 г.

Принята к публикации:

12 Октября 2022 г.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, промышленность, инновационное развитие, Интернет Вещей, искусственный интеллект

Аннотация.

Обеспечение экономического развития в условиях внешних санкций и ограничений требует устойчивости технологической структуры, достижение которой невозможно без модернизации промышленности, дающей максимально возможный прирост производительности. Особого внимания заслуживают те возможности инновационного развития, которые несут в себе технологии Четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0), формирующие новые рынки Национальной технологической инициативы. Структурирование «сквозных» технологий Индустрии 4.0, выделение ее ядра, наиболее перспективного для российской промышленности, выступило предметом исследования. Поставленная гипотеза формулируется следующим образом: диффузия технологий Индустрии 4.0 требует формирования технологической платформы, ориентированной на ее ядро, что не может быть самоиницируемым, но регулируемым со стороны государства процессом, в том числе в ключе избегания структурной безработицы. С этой целью в статье рассмотрено технологическое ядро Индустрии 4.0, определено его место в технологической модернизации российской промышленности, приведены проблемы диффузии в ней инновационных технологий, показано изменение роли труда в цифровизованном реальном секторе.

Для цитирования: Ху Тинтин. Технологическое ядро и экономические аспекты модернизации на платформе Индустрии 4.0 // Экономика и управление инновациями. 2022. № 3 (22). С. 5-18. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-5-18

TECHNOLOGICAL CORE AND ECONOMIC ASPECTS OF MODERNIZATION ON THE INDUSTRY 4.0 PLATFORM

Hu Tingting

Zhonghai Industrial Co., Ltd., PRC



Article info

Submitted:

10 August 2022

Approved after reviewing:

27 September 2022

Abstract.

Ensuring economic development in the face of external sanctions and restrictions requires the stability of the technological structure, which cannot be achieved without the modernization of industry, which gives the maximum possible increase in productivity. Particularly noteworthy are the opportunities for innovative development, which are carried by the technologies of the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0), which form new markets for the National Technology Initiative. Structuring the "end-to-end" technologies of Industry 4.0, highlighting its core, the most promising for the Russian industry, was the subject of the study. The hypothesis put forward is formulated as follows: the diffusion of Industry 4.0 technologies requires the formation of a technological platform focused on its core, which cannot

Accepted for publication:
12 October 2022

Keywords:

Industry 4.0, industry, innovative development, Internet of Things, artificial intelligence

be a self-initiated process, but regulated by the state, including in the key of avoiding structural unemployment. To this end, the article considers the technological core of Industry 4.0, determines its place in the technological modernization of Russian industry, presents the problems of diffusion of innovative technologies in it, and shows the changing role of labor in the digitalized real sector.

***For citation:** Hu Tingting. Technological core and economic aspects of modernization on the Industry 4.0 platform. Economics and Innovation Management, 2022, no. 3 (22), pp. 5-18. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-5-18*

1 Introduction / Введение

Обеспечение устойчивого предложения промышленной продукции и предотвращения энергетических кризисов, минимизации техногенных аварий и негативного воздействия промышленности на окружающую среду, приток капитала и инноваций в реальный сектор должны иметь позитивную динамику во времени и в пространстве с тем, чтобы поддерживать благосостояние растущей численности населения Земли. Для этого технологическая платформа современной промышленности должна иметь не только инновационно-промышленный, но и социально-экономический охват новейших компетенций, чему в полной мере соответствует Индустрия 4.0.

Достижения Четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0), воплощаемые в «сквозных» конвергентных, в т.ч. цифровых технологиях [1], способны обеспечить стабильное развитие добывающего, обрабатывающего и высокотехнологического секторов промышленности в условиях флуктуаций мирового спроса на ресурсы и рентабельности предприятий, усиления законодательства в сфере экологии безопасности труда. В соответствии с подходом к коммерциализации достижений Индустрии 4.0, воплощенном в форсайте «Национальная технологическая инициатива» [2], продвижение достижений Четвертой промышленной революции к потребителю происходит через такие формирующиеся рынки, как EnergyNet, AutoNet, SafeNet, TechNet, AeroNet, NeuroNet, FoodNet, WearNet, EduNet, EcoNet, GameNet, HomeNet, SportNet. Развитие данных рынков есть ответ на те технологические шоки, которые связаны с ускоренной цифровой модернизацией обрабатывающего сектора промышленности и отраслей ее инфраструктуры.

Связь Индустрии 4.0 с инновационной экосистемой промышленности становится очевидна по мере смены традиционной производственной модели, основанной на концентрации принятия решений и централизованном распределении ресурсов, на новую сетевую модель [3]. В новой модели использование цифровых коммуникационных технологий, поддерживаемых киберфизическими системами и Интернетом Вещей, позволяет достичь невиданного ранее уровня безопасности труда наряду с радикальным ростом его производительности [4]. Косвенным образом цифровую сущность Индустрии 4.0 подтверждает проблема обеспечения цифровой безопасности предприятий, внедряющих киберфизические системы, Промышленный Интернет Вещей и пр. Организация безопасного обмена данными, защита от кибератак, совместное использование облачных вычислительных ресурсов – все эти проблемы, характерные для Индустрии 4.0, признаются высоко актуальными и для всех рынков Национальной технологической инициативы, в особенности для EnergyNet, SafeNet, TechNet, NeuroNet [5].

Новые возможности развития промышленного производства, заложенные в Индустрии 4.0, которые не связаны с появлением новых источников энергии и видов транспорта, включают в себя контроль в режиме реального времени над качеством продукции, производительностью и техническим состоянием оборудования, безопасностью работников и состоянием зданий и сооружений, могут быть редуцированы до ядра Индустрии 4.0 – т.н. Информационные технологии 4.0 [6]. В этом свете Индустрия 4.0 может быть представлена как результат киберфизической интеграции интеллектуального производства и традиционного обеспечения промышленности [7]. Подтверждением перспективности дальнейшего развития минерально-сырьевого комплекса на платформе Индустрии 4.0 (т.н. Майнинг 4.0 [8]) служит опыт крупнейших российских горнодобывающих предприятий, глубокая цифровизация которых позволила снизить потери полезного ископаемого на 12-15%, сократить количество производственных несчастных случаев на

25%, снизить эксплуатационные расходы на 10-15% и повысить рентабельность продаж на 5% за счет улучшения логистики [9].

Нельзя не принять во внимание неоднородность процесса внедрения технологий Индустрии 4.0 в различных секторах экономики – добывающем и обрабатывающем. Поскольку последний демонстрирует более высокие темпы цифровой модернизации (благодаря внедрению таких технологий, как Product Lifecycle Management, SMART Factory, Software Interoperability), спрос на технологии с его стороны является опережающим, тогда как спрос на новые виды сырья со стороны обрабатывающего сектора является отстающим [10]. В результате в настоящее время применительно к распространению Индустрии 4.0 в добывающем секторе более уместно говорить о ее влиянии на энергоэффективность, материалоемкость, экологичность производства, безопасность и производительность труда, чем на выпуск новых видов минерального сырья.

В связи с этим следует прислушаться к мнению о том, что формирование национальной технологической платформы Индустрии 4.0 в реальном секторе экономики не может быть спонтанным и самоинициируемым [11-14].

Напротив, сегодня необходима адекватная стратегия государственной поддержки технологической модернизации национальных минерально-сырьевых комплексов. Налоговые инвестиционные стимулы целесообразно распространить на традиционные и альтернативные источники финансирования массовой замены устаревшего оборудования, управляемого человеком, на устройства, сопряженные искусственным интеллектом, с учетом всех возможных социальных эффектов (главный из которых – риск всплеска структурной безработицы, которого, тем не менее, за три последних декады не наблюдается в технологически передовых странах – Рис. 1).

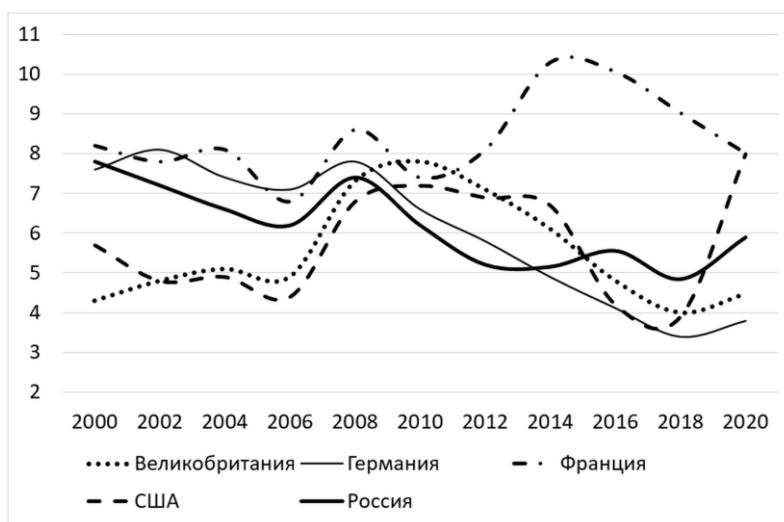


Рис. 1. Динамика уровня безработицы в экономике России и ряда технологически передовых стран

Fig. 1. Dynamics of the unemployment rate in the economy of Russia and a number of technologically advanced countries

Построено по данным: [15].

Как следует из данных, представленных на Рис. 1, резкого роста уровня безработицы в технологически передовых странах, который может быть объяснен циклическими факторами (кризис 2008 г., краткосрочный спад в 2014-2015 г.), а также пандемийным фактором в 2020 г., не было ни в 2000-х, ни в 2010-х гг. Аналогичная ситуация наблюдалась и в российской экономике, в которой технологическое развитие происходит гораздо более медленными темпами, о чем свидетельствуют данные Рис. 2.

Данные Рис. 2 свидетельствуют о медленных темпах создания новых технологий в российской экономике (за четырнадцать лет – 2008-2021 гг. – их число увеличилось всего в два раза). Это во многом объяснимо стагнацией госбюджетного финансирования фундаментальных и прикладных научных исследований в 2008-2021 гг. – 2-2,8%, что минимум вдвое ниже уровня данного показателя в технологически передовых странах.

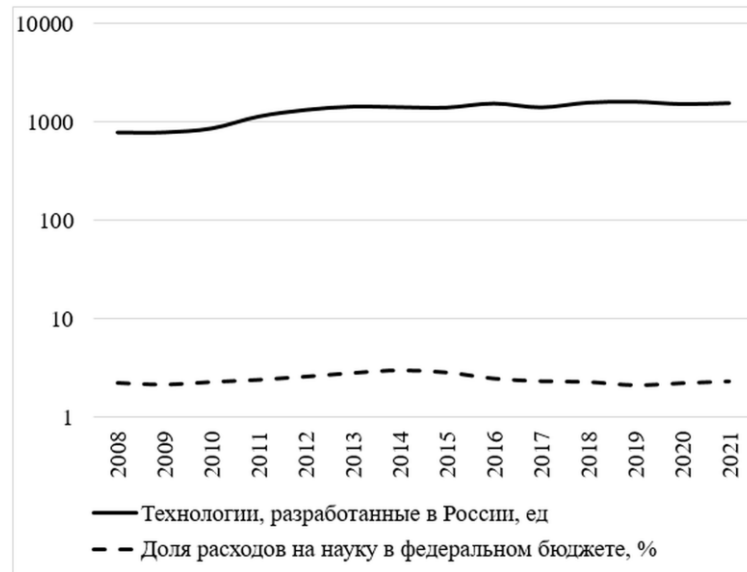


Рис. 2. Динамика количества технологий, разработанных в России, и доли расходов на науку в федеральном бюджете (логарифмическая шкала)

Fig. 2. Dynamics of the number of technologies developed in Russia and the share of spending on science in the federal budget (logarithmic scale)

Построено по данным: [16].

Потребность в государственном регулировании перехода реального сектора национальной экономики к Индустрии 4.0 определена теми проблемами, которые возникают при росте инвестиций в автоматизацию операций, в применение телекоммуникационных сервисов для оцифровки, интеграции, автоматизации и контроля процессов на промышленных предприятиях. Так, опыт Мексики позволил выделить такие проблемы трансфера технологий Индустрии 4.0, как концентрация капитала и сокращение конкуренции, высвобождение работников и ужесточение требований к ним [17]. Вместе с тем для российской экономики отраслевая диффузия технологий Индустрии 4.0 сдерживается не рыночными, а институциональными проблемами инвестирования инноваций. Поэтому важно выделить ядро таких «сквозных» технологий как первоочередного объекта инвестирования.

2 Materials and Methods / Материалы и методы

Становление Индустрии 4.0 в разрезе влияния технологий Индустрии 4.0 на отдельные составляющие добывающие, обрабатывающие, транспортно-логистические системы представлено на Рис. 3 как сегментация «проникновения» сквозных технологий в производственные процессы промышленных предприятий.

Так следует из Рис. 3, совокупность качественных признаков Индустрии 4.0 неразрывно относит его к сфере воздействия цифровых 4.0 на процессы промышленного производства и логистики во всем их многообразии и взаимном переплетении. Следует прислушаться к мнению тех авторов, которые считают, что формирование и реализация технологической платформы Индустрии 4.0 есть сложная научно-техническая задача, которая выходит за пределы цифровизации, искусственной интеллектуализации, киберизации производства, его цифрового клонирования [18]. Определяющая связь перехода к бережливому производству и рециклингу в решении экологических и социальных проблем общества позволяет определить Индустрию 4.0 не только как технологическую, но и как социально-экономическую платформу будущего благополучия человечества [19-21]. Неразрывная связь Индустрии 4.0 с цифровыми технологиями – самыми динамично развивающимися сегодня – позволяет судить о перспективах ее трансформации в Индустрию 5.0, ожидаемую во второй половине 21 в.

Таким образом, целью исследования является многосторонний обзор, структурирование и обобщение авторских концепций, идей и инноваций в системе перехода добывающей отрасли на

новую технологическую платформу в ходе развертывания Четвертой промышленной революции. Задачи, поставленные в соответствии с данной целью, включают в себя анализ современных прорывных инноваций и «сквозных» отраслевых технологий, иерархизацию трендов развития, обобщение отдельных ноу-хау и определение перспектив перехода к следующей платформе второй половины 21 в. – Индустрии 5.0. В целом консенсус мнений относительно ключевых технологий Индустрии 4.0 заключается во включении в ее ядро Промышленного Интернета Вещей, нейронных сетей, «умных» датчиков и роботов, 3D-визуализацию, виртуальную и дополненную реальность, машинное видение и обучение, Большие Данные, цифровые двойники и блокчейн [22-25]. Организационно-экономические технологии Индустрии 4.0 представлены ESG-инвестированием, интеллектуальным менеджментом и бизнес-проектированием.

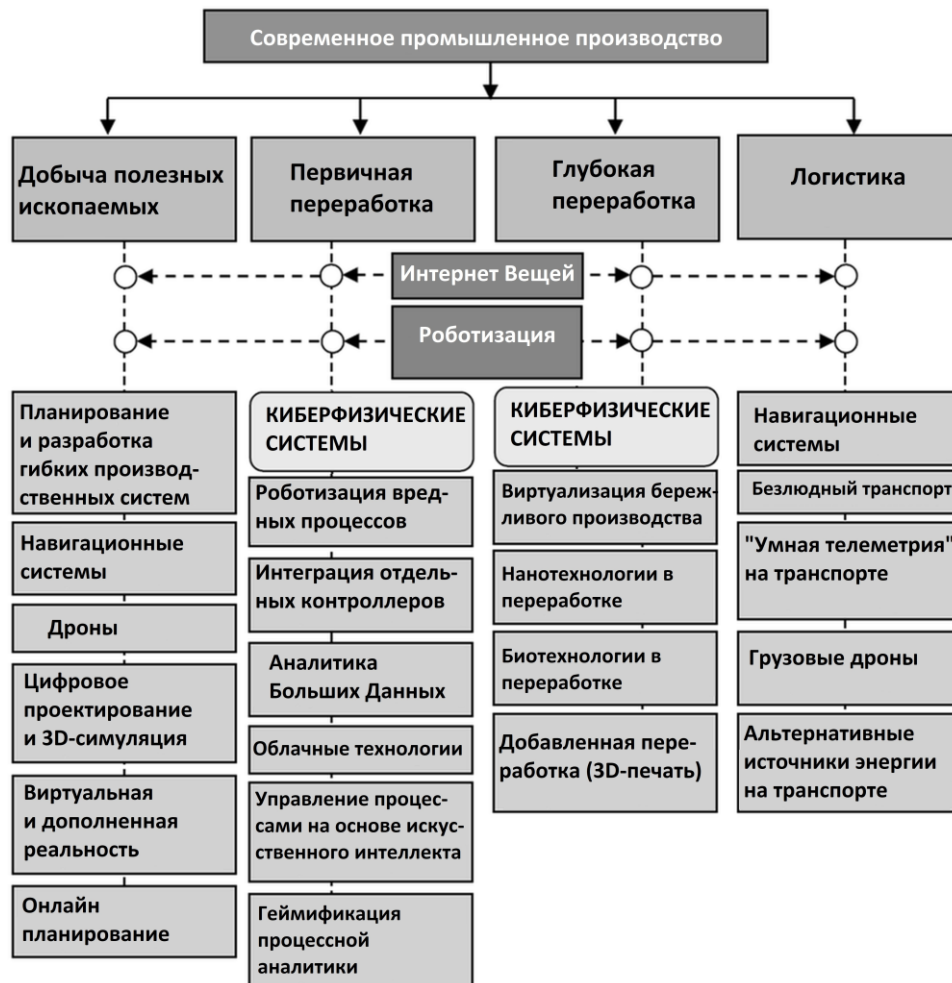


Рис. 3. Ядро и сегменты Индустрии 4.0 в промышленности
Fig. 3. Core and segments of Industry 4.0 in industry

3 Results and discussion / Результаты и обсуждение

Индустрия 4.0 – сравнительно новая платформа, позволяющая при помощи цифровых инноваций перейти к более совершенной оптимизации производства. Генезис Индустрии 4.0 отражен в Табл. 1.

Из данных, представленных в Табл. 1, следует, что тренд на цифровизацию промышленного производства в русле Индустрии 4.0 кардинально отличается от предыдущих промышленных революций тем, что вместо углубления автоматизации производства на первое место выходят новые формы соединения человека, машин и технологий. Эти связи носят характер дополнения интеллекта человека машинным, а также получения и обработки огромных объемов информации, используемой в принятии инженерных, организационных и экономических решений. В ре-

зультате мировая конкурентоспособность национальных промышленных комплексов определяется уровнем развития национальных проектов и программ по цифровизации. Именно стратегия Индустрии 4.0, впервые реализуясь в Германии, обеспечила этой стране технологическое лидерство в базовых отраслях экономики [26].

Таблица 1. Связь этапов технологического развития и ключевых инноваций в промышленности
Table 1. Relationship between stages of technological development and key innovations in industry

Период времени	Этап технологического развития	Ключевые инновации
Первая половина 19 в.	Индустрия 1.0	Добыча угля, производство кокса, сталей, паровых машин
Вторая половина 19 в. – начало 20 в.	Индустрия 2.0	Электричество, конвейерное производство, добыча нефти и газа, двигатели внутреннего сгорания
Вторая половина 20 в.	Индустрия 3.0	Автоматизация, персональные компьютеры и аналоговые контроллеры
Начало 21 в.	Индустрия 4.0	Цифровизация, Интернет Вещей, Искусственный интеллект, Машинное Видение, блокчейн

Аналогичные глобальные преимущества в добыче и экспорте сырья дали такие национальные стратегии цифровизации, как «Сделано в Китае 2025» [27] и «Общество 5.0» в Японии [28]. На уровне отдельных предприятий и переработки полезных ископаемых они позволяют вывести производительность на такой уровень, который будет гарантировать рентабельную работу в условиях шоков мировых цен на сырье, роста затрат труда, увеличения объемов инвестиций, требуемых для массовой технологической модернизации предприятий обрабатывающей промышленности [29].

Примером цифровизации промышленности является переход к интегрированной компьютеризации горных работ (Computer Integrated Mining, CIM), который отражает определенный уровень цифровой зрелости компаний, занятых в извлечении и первичной переработке полезных ископаемых. Его квинтэссенцией является объединение цифровых систем планирования и управления производственными процессами, контроля состояния оборудования, безопасности работ и качества продукции в единую ИТ-систему предприятия. Главным принципом метода CIM является отсутствие «серых» зон цифровизации – процессов, не охваченных применением современных информационных технологий, датчиков удаленного доступа, машинного зрения и интеллектуального прогнозирования [30].

Особенность цифровых технологий Индустрии 4.0 также в том, что они позволяют изменить видение, стратегию, операционную модель, бизнес-возможности компаний. В сочетании с цифровизацией системы менеджмента это создает основу для максимизации стоимости. Влияние внедрения цифровых технологий на различные этапы цепочки создания стоимости в промышленности представлено на Рис. 4.

В такой цифровой экосистеме предприятий кардинально меняется роль рабочего – от машиниста оборудования (в том числе автоматизированного и частично роботизированного) к Оператору 4.0. Такой «рабочий будущего» должен обладать следующими компетенциями: использование биомеханической поддержки для увеличения силы и выносливости, опора на дополненную реальность для интеграции цифрового и физического мира (к примеру, для получения онлайн помощи от производителей оборудования через интерактивные VR-очки), обязательное применение умных 5G-датчиков для соединения информации об окружающей среде и здоровье, использование интеллектуальных персональных помощников для взаимодействия с оборудованием (обучение коллаборативных роботов) и базами данных (самообучение, оперативное прогнозирование на основе аналитики Больших Данных) [31]. Новый импульс развития промышленные цифровые экосистемы получили в период пандемии COVID-19, повысившей цифровую зрелость таких отраслей, как строительство, транспорт, энергетика до уровня Цифровизация 3.0

(Digital 3.0) и выше. Эти же процессы в ближайшие годы будут способствовать цифровой зрелости промышленности.



Рис. 4. Воздействие цифровых технологий на различные стадии создания добавленной стоимости в промышленности

Fig. 4. The impact of digital technologies on various stages of value creation in industry

Современные технологии Интернета Вещей дают реальному сектору экономики уникальную возможность исключить человека из многих процессов оперирования машинами и механизмами в сложных, вредных и опасных условиях производства. В результате имеет место радикальное снижение влияния человеческого фактора на производственные процессы и, наоборот, их опасного фактора на человека благодаря умным датчикам температуры, влажности, света, скорости, пассивного инфракрасного излучения и приближения [32]. Промышленный Интернет Вещей в Индустрии 4.0 функционально тесно связан с Интернетом Энергии, поскольку значительная часть современного промышленного оборудования имеет энергетические приводы высокой мощности. Соответственно, такие принципы архитектуры энергетической сети, как Plug-and-Play, двунаправленные потоки энергии и информации об энергопотреблении, сочетания возобновляемых и невозобновляемых источников реализуются при помощи продвинутых Интернет-технологий, таких как Интернет Вещей и блокчейн. Межмашинные взаимодействия, построенные на этих технологиях, позволяют не только повысить производительность, но и снизить энергопотребление. Важной точкой приложения межмашинных взаимодействий на основе Промышленного Интернета Вещей является мониторинг технического состояния горного оборудования в режиме реального времени.

Для обработки массивных потоков данных, генерируемых Промышленным Интернетом Вещей, требуется распределенный алгоритм создания частых наборов элементов (DFIMA) – часть «Майнинга Данных» (Data Mining). Примером извлечения ключевых данных из общего массива инженерной информации можно считать Apache Spark, успешно используемый для интеллектуального анализа промышленной метаданных, включает алгоритм SWEclat, который обладает хорошим ускорением, параллельной масштабируемостью и балансировкой нагрузки [33].

Передача информации при помощи Промышленного Интернета Вещей может быть представлена при помощи графа знаний – метода динамического извлечения знаний из Больших Данных и управления ими. Особенно эффективным данный метод является для обслуживания оборудования в режиме реального времени, когда применение нейронной сети BERT-BiLSTM-CRF позволило при одном и том же наборе данных распознавать сущности проблем более быстро, чем у автономных сенсоров. Архитектура модели графа знаний, позволяющей запрашивать, отображать и управлять ими, создавая поддержку принятия решений, показана на Рис. 5 на примере обслуживания промышленного оборудования [34].

Что касается цифровых двойников, то с точки зрения промышленных информационных технологий они основаны на нейронных сетях с одной стороны и на математическом описании физико-механических, термодинамических, химических процессов, происходящих в системе воздействия человека на природу, с другой стороны. Применение нейронных сетей при оперировании цифровыми двойниками позволяет осуществлять многоканальное и многопользовательское

управление технологическими процессами и, что более важно, осуществлять непрерывное до-обучение сетей, создавая высокоточную цифровую копию. В дальнейшем такой цифровой двойник может быть использован для оптимизации определенного процесса, к примеру, в связи с сокращением энерго- и ресурсопотребления.



Рис. 5. Архитектура графа знаний сервисного обслуживания оборудования в промышленности

Fig. 5. The architecture of the knowledge graph of equipment maintenance in the industry

Другой аспект цифрового ядра Идустрии 4.0 – Большие Данные (Big Data) можно рассматривать как основу многоцентричного и многоканального управления производственными процессами. Квинтэссенцией такого управления является интеграция разрозненных информационных систем с различных участков производства, что обеспечивает соединение информации о разнородных производственных экономических составляющих бизнес-цикла предприятия (Рис. 6) [36].

Особый взгляд на роль Больших Данных в развитии промышленного производства связан с преодолением неопределенности в обеспечении экономики энергией и энергоносителями. Неопределенность, формируясь на мировых рынках, оказывает непосредственное влияние на затраты и выпуск предприятий, их рентабельность. Поэтому анализ Больших Данных позволяет адаптировать производственные процессы к изменениям на мировом рынке сырья с учетом экспансии альтернативной энергетики.

Сложная задача оптимизации работы различного оборудования требует надежных средств обработки и анализа потоков данных с минимальной задержкой для решения таких оптимизационных задач. Однако сегодня уже не хватает мощности существующих автономных вычислительных центров предприятий, поэтому внимание аналитиков развития промышленных информационных технологий направлено на сервисы распределенных облачных вычислений. Современные сервисы облачных вычислений позволяют оптимизировать работу отдельных агрегатов современного оборудования на предприятии, что актуализирует резерв роста производительности на 25-30% [36].

Технология блокчейна в промышленности в ходе ее ESG-трансформации приобретает вид «Цифровая платформа + Мобильные приложения + Экология». Цифровая экосистема блокчейна

в Индустрии 4.0 будет постепенно совершенствоваться, способствуя становления межотраслевой экосистемы «кроссчейн». Такая технология позволяет обеспечить передачу информации между цепочками блоков для достижения эффективной передачи информации из разных отраслей. Кроме того, информацию о разрозненных процессах можно передавать другим участникам технологической цепочки производства, и информационный обмен становится более интенсивным. В частности, все отрасли минерально-сырьевого комплекса в будущем будут связаны распределенными контрактами, формируя действительно прозрачную энергосистему.

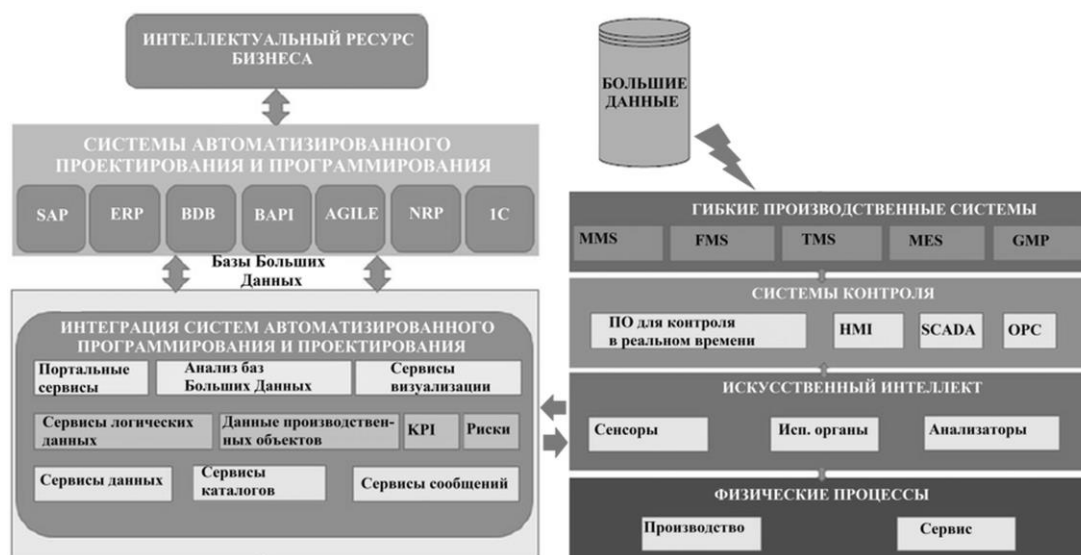


Рис. 6. Схема применения Больших Данных
Fig. 6. Big Data Application Diagram

В современной промышленности энергоэффективность и производительность находятся в сложной функциональной связи, для моделирования которой требуется вся мощь нейросетей. В условиях флуктуаций мирового рынка планирование выпуска промышленной продукции теряет свою точность из-за нарастания неопределенности. Это требует решения крупномасштабной смешанно-целочисленной задачи линейного программирования с большими вычислительными затратами. Оригинальный подход к ее решению включает два этапа: сперва итеративный подбор комбинаций ресурсов с использованием т.н. параметрического алгоритма закрытого графа (Parametric Graph Closure Algorithm), затем – применение алгоритма ветвления и отсечения [37].

Сложность современных промышленных технологий вызывает неопределенность, которая снижает как безопасность, так и производительность труда. Сокращение этой неопределенности возможно в ходе накопления знаний о деталях производственных процессов, что можно значительно ускорить в ходе итерационного моделирования на основе нейронных сетей. В результате будет получена причинно-следственная модель промышленных процессов высокого уровня, в которой различные параметры находятся во взаимодействии между собой, и накопленные данные используются для обучения нейронной сети. Такая сеть может быть использована для прогнозирования будущей добычи на основе текущих и прогнозных (полусинтетических) данных.

Искусственный интеллект – уникальный режим взаимодействия человека и машин – позволяет отдельным видам оборудования посредством Интернета вещей взаимодействовать друг с другом и с производственными системами в целом. Переноса такую закономерность в сферу промышленности, можно констатировать рост уровня интеграции производственных, транспортных и рыночно-сбытовых систем, постепенное исключение человека из особо опасных зон и рост бесперебойности работы оборудования в ходе внедрения технологий машинного обучения.

Машинное зрение – это набор сложных технологий, дающих машинам визуальное представление об окружающей среде. Машинное зрение открывает новые пути автоматизации предпри-

ятий, модернизируемых на платформе Индустрии 4.0, в ходе интеграции традиционного оборудования и робототехники, традиционного принятия решений людьми и их корректировки машинами для оптимизации процессов. Развитие машинного зрения позволяет не только создавать безлюдные производства, но превращать комплексы машин в коллаборативные роботы, которые безопасно работают вместе с людьми. Именно машинное зрение, как ожидается, станет мостом к Индустрии 5.0 во второй половине 21 в., когда более совершенные системы с мощным искусственным интеллектом полностью вытеснят человека из горных работ, опасных и вредных участков строительных площадок и фабрик.

Вопросы надежности работы агрегатов горных машин становятся определяющими в формировании операционных издержек. С экспансией искусственного интеллекта в промышленности и развитием машинного обучения (до уровня т.н. «глубокого обучения» – Deep Learning), диагностика неисправностей будет полностью передана под контроль самообучающихся интеллектуальных систем. Вместе с тем ограничением применения подобных систем является обязательное достаточное количество информации для анализа в различных нейросетях, что достижимо при широком применении машинного видения. Использование методов автоматического сбора данных позволяет перейти от машинному видению к машинным знаниям, позволяющим оборудованию самостоятельно принимать решения, обеспечивая более безопасные условия труда людей и оптимальное ресурсопотребление.

Передовой край внедрения платформы Индустрии 4.0 представлен роботизированным экологически безопасным оборудованием. Вместе с тем вопросы повышения энергоэффективности роботизированных систем промышленного оборудования либо являются слабо исследованными, либо вообще не получили должного обсуждения. Поэтому проблема технического перевооружения предприятий с применением роботизации с учетом оптимизации энергопотребления роботизированных систем представляется очень важным и своевременным решением для минимизации негативного экологического эффекта от роста промышленного производства за счет повышения производительности.

Что касается экономических основ внедрения платформенных технологий Индустрии 4.0 в промышленном секторе, то диффузия технологий роботизации и искусственной интеллектуализации требует ускорения инновационного развития реального сектора, в том числе при помощи венчурного предпринимательства. Не менее важно развитие внутренних рынков знаний, интеллектуального капитала и информации как альтернативы заимствованию технологий извне.

4 Conclusion / Заключение

Технологии Индустрии 4.0 – цифровая основа интеллектуального промышленного производства – обеспечивают более точное определение объемов выпуска с учетом цен и затрат, опору на нейросети и искусственный интеллект при анализе Больших Данных о материальных и финансовых потоках, оптимизацию работы оборудования и «умную» роботизацию за счет машинного видения и обучения, Интернета Вещей, широкого применения виртуальной визуализации при проектировании отдельных процессов и целых предприятий. Платформенные технологии Индустрии 4.0 также позволяют прогнозировать и обеспечивать безопасность людей и оборудования, контролировать и снижать воздействие промышленного сектора на окружающую среду.

Платформа Индустрия 4.0, широко внедряемая в промышленности стран – мировых технологических лидеров развития промышленного сектора – порождает новые элементы создания стоимости, отличающиеся безлюдным производством, цифровым моделированием как средством сверхбыстрого и надежного оперативного управления процессами, сверхточным проектированием и высочайшей безопасностью труда.

Анализ цифровизации и интеллектуализации бизнес-процессов промышленных предприятий позволил сделать вывод о том, что высочайшая степень координации и гибкость управления процессами производства позволит обеспечить ее рентабельность при любом уровне цен и спроса на мировом и внутреннем рынках. Это достижимо за счет цифрового проектирования и разработки моделей продукции с учетом изменчивых запросов потребителей (кастомизация), гибкого изменения КРІ менеджеров предприятий в условиях роста неопределенности, выхода цифровых управленческих технологий на фронт облачных вычислений и синтетического увеличения данных.

Список источников

1. Гурина И.В., Медведев А.В., Медведева Л.Н., Рогачев А.Ф. Конвергентная платформа Smart Agriculture и применение цифровых информационных технологий в агробизнесе // Учет и статистика. – 2019. – №3 (55). – С. 74-84.
2. Матрица национальной технологической инициативы (НТИ). URL: https://nti2035.ru/matrix/img/matrix_nti_2021.pdf (последнее обращение: 12.09.2022).
3. Кузнецова Т.И. Сетевая экономика как новая форма организации экономической деятельности // Гуманитарный вестник. – 2019. – №6 (80). – С. 1-9
4. Faz-Mendoza A., Gamboa-Rosales N.K., Medina-Rodriguez C.E., Casas-Valadez M.A., Castorena-Robles A., Lopez-Robles J.R. Intelligent processes in the context of Mining 4.0: Trends; research challenges and opportunities / Proceedings of 2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA). – Sakheer: IEEE, 2021. – pp. 9317095.
5. Клыпин А.В. Национальная технологическая инициатива России: вопросы формирования и проблемы реализации // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2015. – №37 (322). – С.22-31.
6. Лепеш Г.В. Цифровая трансформация промышленного сектора экономики // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2022. – №2 (60). – С. 3-15.
7. Qassimi S., Abdelwahed El H. Disruptive Innovation in Mining Industry 4.0 / In Book: Studies in Distributed Intelligence. Ed. by M. Elhoseny, X. Yuan. – New York: Springer, 2022. – pp. 7-28.
8. Чехлар М., Жиронкин С.А., Жиронкина О.В. Цифровые технологии индустрии 4.0 в Майнинге 4.0 – перспективы развития геотехнологии в XXI в. // Вестник КузГТУ. – 2020. – №3 (139). – С. 80-90.
9. Nagovitsyn O., Churkin O., Gilyarova A. Effects of application of industry-4.0 technologies and digitalization in mining / Proceedings of 21st International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021. – Sofia: STEF92 Technology Ltd, 2021. – pp. 347-354.
10. Gajdzik B., Grabowska S., Saniuk S. A Theoretical Framework for Industry 4.0 and Its Implementation with Selected Practical Schedules // Energies. – 2021. – vol. 14. – pp. 940.
11. Волков А.Т., Дегтярева В.В., Устинов В.С. Особенности инновационного предпринимательства в условиях развития национальной технологической инициативы // Инновации. – 2017. – №11 (229). – С. 54-59.
12. Жупарова А.С. Научно-технические производства и специфика их финансирования: зарубежный опыт // Вестник БГУ. – 2019. – №3 (41). – С. 120-130.
13. Положихина М.А. Ход и результаты реформ в научной сфере: сравнение России и Китая // Россия и современный мир. – 2020. – №3. – С. 189-208.
14. Ляпина И.Р. Управление инновационно-технологическим развитием регионов России в контексте реализации стратегии национальной технологической инициативы // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2018. – №13-1. – С. 1001-1002.
15. Информационный портал Global Economy. URL: https://ru.theglobaleconomy.com/Germany/Unemployment_rate/ (последнее обращение: 12.09.2022).
16. Федеральная служба государственной статистики. Официальный сайт – Раздел «Наука, инновации и технологии». URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science> (последнее обращение: 12.09.2022).
17. Robles R., Foladori G., Lau E.Z. Industry 4.0 in Mexican mining // Revista de El Colegio de San Luis. – 2020. – Vol. X(21). – pp. 6-32.
18. Velikanov V.S., Dyorina N.D., Korotkova A.N., Dyorina K.S. The challenges of Industry 4.0 and the need for new answers in the mining industry // News of the Ural State Mining University. – 2021. – Vol. 2(62). – pp. 154-166.
19. Ляпина И.Р., Строева О.А. Интеграция бизнеса, образования и науки на региональном уровне в целях реализации национальной технологической инициативы // Вестник ВолГУ. Серия 3: Экономика. Экология. – 2017. – №3 (40). С. 89-96.
20. Инцельт А., Ксонка Л. Ответственный подход к исследованиям и инновациям в предпринимательском секторе // Форсайт. – 2017. – №4. – С. 63-73.
21. Калюгина С. Н., Макарьева В. Ю. Исследование социальных факторов инновационной деятельности промышленных предприятий // Пространство экономики. – 2013. – №4-2. – С. 129-133.
22. Карлик А.Е., Платонов В.В., Кречко С.А. Организационное обеспечение цифровой трансформации кооперационных сетей и внедрения киберсоциальных систем // IT-Economy. – 2019. – №5. – С. 9-22.
23. Акимов А.А., Тихонов А.И. Цифровая трансформация: основные тенденции и влияние на систему управления персоналом предприятия // Вестник Академии знаний. – 2020. – №3 (38). – С. 36-43.
24. Поляков В.А., Фомичева И.В. Анализ технико-экономических парадигм "технологический уклад" и "Индустрия" // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. – 2019. – №1-1. – С. 30-38.
25. Дравица В., Курбацкий А. Промышленная революция Industry 4.0 // Наука и инновации. – 2016. – №157. – С. 13-16.
26. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. – New York: Crown Publishing Group, 2016. – 302 p.
27. Горобченко М.А. Сравнение программ «Made in China - 2025» и «Industrie 4.0» для оценки перспектив сотрудничества Китая и Германии в сфере инноваций // Скиф. – 2021. – №6 (58). – С. 311-317.
28. Palaka D., Paczesny B., Gurdziel M., Wieloch W. Industry 4.0 in development of new technologies for underground mining // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 174. – pp. 01002

29. Nad A., Jooshaki M., Tuominen E., Michaux S., Kirpala A., Newcomb J. Digitalization Solutions in the Mineral Processing Industry: The Case of GTK Mintec; Finland // *Minerals*. – 2022. – Vol. 12. – pp. 210.
30. Carrasco Y. Technology and Innovation Management in Open-Pit Peruvian Mining: Case Studies / *Proceedings of 28th International Conference for Management of Technology (IAMOT 2019)*. – Mumbai: National Institute of Industrial Engineering, 2019. – pp. 136-141.
31. Loow J., Abrahamsson L., Johansson J. Mining 4.0 – the Impact of New Technology from a Work Place Perspective // *Mining, Metallurgy & Exploration*. – 2019. – Vol. 36. – pp. 701-707.
32. Hossein M.N., Mohammadrezaei M., Hunt J., Zakeri B. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector // *Energies*. – 2020. – Vol. 13(2). – pp. 494.
33. Xiao W., Hu J. SWEclat: a frequent itemset mining algorithm over streaming data using Spark Streaming // *The Journal of Supercomputing*. – 2020. – Vol. 76. – pp. 7619-7634.
34. Zhang G., Cao X., Zhang M. A Knowledge Graph System for the Maintenance of Coal Mine Equipment // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2021. – Vol. 2021. – pp. 2866751.
35. Sishi M., Telukdarie A. Implementation of Industry 4.0 technologies in the mining industry – a case study // *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. – 2020. – Vol. 11(1). – pp. 1-23.
36. Duan M., Huang Q., Xu R., Wang C., Xu J. Optimization of Shearer Drum Based on Multi-Objective Bat Algorithm with Grid (MOBAG) // *Machines*. – 2022. – Vol. 10. – pp. 733.
37. Joshi D., Paithanka A., Chatterjee S., Equeenuddin S.M. Integrated Parametric Graph Closure and Branch-and-Cut Algorithm for Open Pit Mine Scheduling under Uncertainty // *Mining*. – 2022. – Vol. 2. – pp. 32-51.

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

Ху Тунтин – руководитель организационного отдела

Чжунхай промышленная компания, Китайская национальная оффшорная нефтяная корпорация

КНР

E-mail: hutington@kuzstu.ru

References

1. Gurina I.V., Medvedev A.V., Medvedeva L.N., Rogachev A.F. Konvergentnaja plat-forma Smart Agriculture i primeneniye cifrovyyh informacionnyh tehnologij v agrobiznese [Convergent platform Smart Agriculture and the use of digital information technologies in agribusiness]. *Uchet i statistika = Accounting and statistics*. 2019. Vol. 3 (55). pp. 74-84.
2. Matrica nacional'noj tehnologicheskoy iniciativy (NTI) [Matrix of the National Technology Initiative (NTI)]. URL: https://nti2035.ru/matrix/img/matrix_nti_2021.pdf (last access: 12.09.2022).
3. Kuznecova T.I. Setevaja jekonomika kak novaja forma organizacii jekonomicheskoy dejatel'nosti [Network economy as a new form of organization of economic activity]. *Gumanitarnyj vestnik = Humanitarian Bulletin*. 2019. Vol. 6 (80). pp. 1-9.
4. Faz-Mendoza A., Gamboa-Rosales N.K., Medina-Rodriguez C.E., Casas-Valadez M.A., Castorena-Robles A., Lopez-Robles J.R. Intelligent processes in the context of Mining 4.0: Trends; research challenges and opportunities / *Proceedings of 2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*. Sakheer: IEEE, 2021. pp. 9317095.
5. Klypin A.V. Nacional'naja tehnologicheskaja iniciativa Rossii: voprosy formirovaniya i problemy realizacii [National Technological Initiative of Russia: Formation and Implementation Issues]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*. 2015. Vol. 37 (322). pp. 22-31.
6. Lepesh G.V. Cifrovaja transformacija promyshlennogo sektora jekonomiki [Digital transformation of the industrial sector of the economy //]. *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa = Technical and technological problems of service*. 2022. Vol. 2 (60). pp. 3-15.
7. Qassimi S., Abdelwahed El H. Disruptive Innovation in Mining Industry 4.0. In Book: *Studies in Distributed Intelligence*. Ed. by M. Elhoseny, X. Yuan. New York: Springer, 2022. pp. 7-28.
8. Chehlar M., Zhironkin S.A., Zhironkina O.V. Cifrovye tehnologii industrii 4.0 v Majninge 4.0 – perspektivy razvitiya geotehnologii v XXI v. [Digital Technologies of Industry 4.0 in Mining 4.0 – Prospects for the Development of Geotechnology in the 21st Century]. *Vestnik KuzGTU = Bulletin of KuzSTU*. 2020. Vol. 3 (139). pp. 80-90.

9. Nagovitsyn O., Churkin O., Gilyarova A. Effects of application of industry-4.0 technologies and digitalization in mining. Proceedings of 21st International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021. Sofia: STEF92 Technology Ltd, 2021. pp. 347-354.
10. Gajdzik B., Grabowska S., Saniuk S. A Theoretical Framework for Industry 4.0 and Its Implementation with Selected Practical Schedules. *Energies*. 2021. vol. 14. pp. 940.
11. Volkov A.T., Degtjareva V.V., Ustinov V.S. Osobennosti innovacionnogo predpri-nimatel'stva v uslovijah razvitiya nacional'noj tehnologicheskoy iniciativy [Features of innovative entrepreneurship in the context of the development of the national technological initiative]. *Innovacii = Innovations*. – 2017. Vol. 11 (229). pp. 54-59.
12. Zhuparova A.S. Naukoemkie proizvodstva i specifika ih finansirovaniya: zarubezhnyy opyt [Science-intensive industries and the specifics of their financing: foreign experience]. *Vestnik BGU = Bulletin of the Belgorpd State University*. 2019. Vol. 3 (41). pp. 120-130.
13. Polozhihina M.A. Hod i rezul'taty reform v nauchnoj sfere: sravnenie Rossii i Kitaja [The course and results of reforms in the scientific sphere: a comparison of Russia and China]. *Rossija i sovremennyy mir = Russia and the modern world*. 2020. Vol. 3. pp. 189-208.
14. Ljapina I.R. Upravlenie innovacionno-tehnologicheskimi razvitiem regionov Ros-sii v kontekste realizacii strategii nacional'noj tehnologicheskoy iniciativy [Management of innovative and technological development of Russian regions in the context of the implementation of the strategy of the national technological initiative]. *Rossija: tendencii i perspektivy razvitiya = Russia: trends and development prospects*. 2018. Vol. 13-1. pp. 1001-1002.
15. Informacionnyj portal Global Economy [Information portal of the Global Economy]. URL: https://ru.theglobaleconomy.com/Germany/Unemployment_rate/ (last access: 12.09.2022).
16. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Oficial'nyj sajt – Razdel «Nauka, innovacii i tehnologii» [Federal State Statistics Service. Official site - Section "Science, innovations and technologies"]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science> (last access: 12.09.2022; 12.09.2022).
17. Robles R., Foladori G., Lau E.Z. Industry 4.0 in Mexican mining. *Revista de El Colegio de San Luis*. 2020. Vol. X (21). pp. 6-32.
18. Velikanov V.S., Dyorina N.D., Korotkova A.N., Dyorina K.S. The challenges of Industry 4.0 and the need for new answers in the mining industry. *News of the Ural State Mining University*. 2021. Vol. 2(62). pp. 154-166.
19. Ljapina I.R., Stroeveva O.A. Integracija biznisa, obrazovanija i nauki na regional'-nom urovne v celjah realizacii nacional'noj tehnologicheskoy iniciativy [Integration of business, education and science at the regional level in order to implement the national technological initiative]. *Vestnik VolGU. Serija 3: Jekonomika. Jekologija = Bulletin of the VolSU. Series 3: Economy. Ecology*. 2017. Vol. 3 (40). pp. 89-96.
20. Incel't A., Ksonka L. Otvetstvennyj podhod k issledovanijam i innovacijam v predprinimatel'skom sektore [Responsible approach to research and innovation in the business sector]. *Forsajt = Foresight*. 2017. Vol. 4. pp. 63-73.
21. Kaljugina S. N., Makar'eva V. Ju. Issledovanie social'nyh faktorov innovacionnoj dejatel'nosti promyshlennyh predpri-jatij [Research of social factors of innovative activity of industrial enterprises]. *Prostranstvo jekonomiki = Space of Economics*. 2013. Vol. 4-2. pp. 129-133.
22. Karlik A.E., Platonov V.V., Krechko S.A. Organizacionnoe obespechenie cifrovoj transformacii kooperacionnyh setej i vnedrenija kibersocial'nyh sistem [Organizational support for the digital transformation of cooperative networks and the implementation of cybersocial systems]. *π-Economy*. 2019. Vol. 5. pp. 9-22.
23. Akimov A.A., Tihonov A.I. Cifrovaja transformacija: osnovnye tendencii i vli-janie na sistemu upravlenija personalom predpriyatija [Digital transformation: main trends and impact on the personnel management system of an enterprise]. *Vestnik Akademii znanij = Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2020. Vol. 3 (38). pp. 36-43.
24. Poljakov V.A., Fomicheva I.V. Analiz tehniko-jekonomicheskikh paradigim "tehnolo-gicheskij ukklad" i "Industrija" [Analysis of technical and economic paradigms "technological order" and "Industry"]. *Izvestija TulGU. Jekonomicheskie i juridicheskie nauki = Izvestiya TulSU. Economic and legal sciences*. 2019. Vol. 1-1. pp. 30-38.
25. Dravica V., Kurbackij A. Promyshlennaja revoljucija Industry 4.0 [Industrial revolution Industry 4. 0]. *Nauka i innovacii Science and innovations*. 2016. Vol. 157. pp. 13-16.
26. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. New York: Crown Publishing Group, 2016. 302 p.
27. Gorobchenko M.A. Sravnenie programm «Made in China - 2025» i «Industrie 4.0» dlja ocenki perspektiv sotrudnichestva Kitaja i Germanii v sfere innovacij [Comparison of the programs "Made in China - 2025" and "Industrie 4.0" to assess the prospects for cooperation between China and Germany in the field of innovation]. *Skif*. 2021. Vol. 6 (58). pp. 311-317.
28. Palaka D., Paczesny B., Gurdziel M., Wieloch W. Industry 4.0 in development of new technologies for underground mining. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 174. pp. 01002

29. Nad A., Jooshaki M., Tuominen E., Michaux S., Kirpala A., Newcomb J. Digitalization Solutions in the Mineral Processing Industry: The Case of GTK Mintec; Finland. *Minerals*. 2022. Vol. 12. pp. 210.
30. Carrasco Y. Technology and Innovation Management in Open-Pit Peruvian Mining: Case Studies. *Proceedings of 28th International Conference for Management of Technology (IAMOT 2019)*. Mumbai: National Institute of Industrial Engineering, 2019. pp. 136-141.
31. Loow J., Abrahamsson L., Johansson J. Mining 4.0 – the Impact of New Technology from a Work Place Perspective. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2019. Vol. 36. pp. 701-707.
32. Hossein M.N., Mohammadrezaei M., Hunt J., Zakeri B. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. *Energies*. 2020. Vol. 13(2). pp. 494.
33. Xiao W., Hu J. SWEclat: a frequent itemset mining algorithm over streaming data using Spark Streaming. *The Journal of Supercomputing*. 2020. Vol. 76. pp. 7619-7634.
34. Zhang G., Cao X., Zhang M. A Knowledge Graph System for the Maintenance of Coal Mine Equipment. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. Vol. 2021. pp. 2866751.
35. Sishi M., Telukdarie A. Implementation of Industry 4.0 technologies in the mining in-dustry – a case study. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2020. Vol. 11(1). pp. 1-23.
36. Duan M., Huang Q., Xu R., Wang C., Xu J. Optimization of Shearer Drum Based on Multi-Objective Bat Algorithm with Grid (MOBAG). *Machines*. 2022. Vol. 10. pp. 733.
37. Joshi D., Paithanka A., Chatterjee S., Equeenuddin S.M. Integrated Parametric Graph Closure and Branch-and-Cut Algorithm for Open Pit Mine Scheduling under Uncertainty. *Mining*. 2022. Vol. 2. pp. 32-51.

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

Hu Tingting – head of organizational department
Zhonghai Industrial Co., Ltd., China National Offshore Oil Corporation
PRC
E-mail: hutingting@kuzstu.ru

