

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ
GEOTECHNOLOGY**

Научная статья

УДК 622.235

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-97-108

**ЧЕЛОВЕКОЦЕНТРИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАЙНИНГА 5.0 КАК
АЛЬТЕРНАТИВА БЕЗУГЛЕРОДНОЙ ЭКОНОМИКЕ****Жиронкин Сергей Александрович¹, Коновалова Мария Евгеньевна²,
Абу-Абед Фарес Надимович³**¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева²Самарский государственный экономический университет³Тверской государственный технический университет*для корреспонденции: zhironkinsa@kuzstu.ru**Информация о статье**

Поступила:

22 мая 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

25 июля 2024 г.

Принята к публикации:

29 августа 2024 г.

Опубликована:

26 сентября 2024 г.

Ключевые слова:

Майнинг 5.0, геотехнология, Индустрия 5.0, пост-майнинг, киберсистемы, устойчивое развитие, безуглеродная экономика

Аннотация.

В статье представлен анализ человекоцентричных технологий Индустрии 5.0, которые при условии интеграции с геотехнологией (открытой и подземной) позволяют вывести горнодобывающие отрасли на новый этап развития – Майнинг 5.0. Как технологическая платформа развития минерально-сырьевого комплекса, Майнинг 5.0 способен стать альтернативой концепции безуглеродной экономики – условия достижения целей устойчивого развития ООН, связанных с обеспечением дешевой доступной энергией и борьбой с изменением климата. Выделены характерные цифровые человекоцентричные технологии Майнинга 5.0, диффузия которых в минерально-сырьевом секторе способна радикально повысить производительность и снизить нагрузку на окружающую среду – Интернет Всего, цифровые тройники, генеративный искусственный интеллект, машинное зрение и обучение, «умные» предприятия и пр. Целесообразность их внедрения обоснована высокими рисками Четвертого энергетического перехода, при котором опора на возобновляемые источники энергии противоречит достижениям целей устойчивого развития и грозит масштабными энергетическими кризисами в развивающихся странах. Определены условия развития Майнинга 5.0 – переход от автоматизации горного оборудования к коллаборативным роботизированным системам, от «умных» датчиков и оборудования к «умным» предприятиям, от цифровизации отдельных процессов к «облачной» организации горнодобывающего производства, от рекультивации к пост-майнингу. Установлено, что переход горнодобывающей промышленности на уровень технологического развития Майнинг 5.0 с характерной человекоцентричностью цифровых технологий, дополняющих традиционную геотехнологию, позволил выявить многоаспектность этого процесса, связанную с необходимостью интеграции достижения целей устойчивого развития и роста производительности труда, повышения его безопасности и роста уровня цифровых компетенций работников.

Для цитирования: Жиронкин С.А., Коновалова М.Е., Абу-Абед Ф.Н. Человекоцентричные технологии Майнинга 5.0 как альтернатива безуглеродной экономике // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4 (164). С. 97-108. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-97-108, EDN: TJKWUB

Последовательность технологических революций в 20 и 21 вв. (третья – электрическая, четвертая – цифровая и пятая – киберфизическая) непрерывно продвигает промышленность в сторону создания человекоцентричного производства, в котором цели устойчивого развития, установленные ООН в 2015 г., будут одинаково актуальны как для настоящего, так и будущих поколений. Ожидаемая во второй половине 21 в. Пятая Промышленная Революция (Индустрия 5.0) призвана «развернуть к человеку» не только распределение благ, но и их создание, в том числе добычу природных ресурсов и получение энергии (во исполнение таких целей устойчивого развития ООН, как: 7. Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех; 9. Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям; 11. Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов; 12. Обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства; 13. Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями [1].

Дискуссии в отношении достижения данных целей в комплексе породили концепцию безуглеродной экономики [2], в которой «бесшовный», то есть бескризисный, Четвертый энергетический переход (от ископаемых к возобновляемым источникам энергии) может быть осуществлен достаточно быстро – например, при помощи развития атомной энергетики [3]. Однако высокие потенциальные риски, которые несет в себе развитие атомной энергетики, ставят под вопрос отказ от тепловой

энергетики как в обозримой, так и в отдаленной перспективе, поскольку возобновляемая энергия не позволит обеспечить растущее энергопотребление, и альтернативы добыче ископаемых углеводородов не предвидится. Поэтому разумно говорить о развитии цифровой платформы добычи ископаемых углеводородов, которое ожидается приобретает форму перехода от Майнинга 4.0 к 5.0, как об альтернативе концепции безуглеродной экономики.

Невозможность бескризисного («бесшовного») перехода к безуглеродной экономике видится прежде всего в сравнительно низкой доле возобновляемых источников энергии в общем потреблении в промышленно развитых странах (Рис. 1).

Как следует из данных, представленных на Рис. 1, в большинстве стран доля возобновляемой энергетики не превышает 50%; при этом в Китае и США ее большая часть представлена мощными гидроэлектростанциями. В свою очередь, расширение мощностей гидроэнергетики в ответ на рост спроса на электроэнергию представляет собой длительный и дорогостоящий процесс, инвестиции в который отличаются низкой доходностью по сравнению с вложениями в добычу ископаемых энергоносителей. Детально объемы производства электроэнергии в России отражены на Рис. 2.

Как следует из данных, отраженных на Рис. 2, разница между объемами энергии, получаемой от сжигания ископаемого топлива и использования ветра и солнца, составляет три порядка (до 2018 г. – более чем в тысячу раз). Несмотря на быстрый рост объемов энергии, получаемый от ветряных и солнечных электростанций в России (за десятилетие 2012–2021 гг. – порядка 150 раз), их доля не

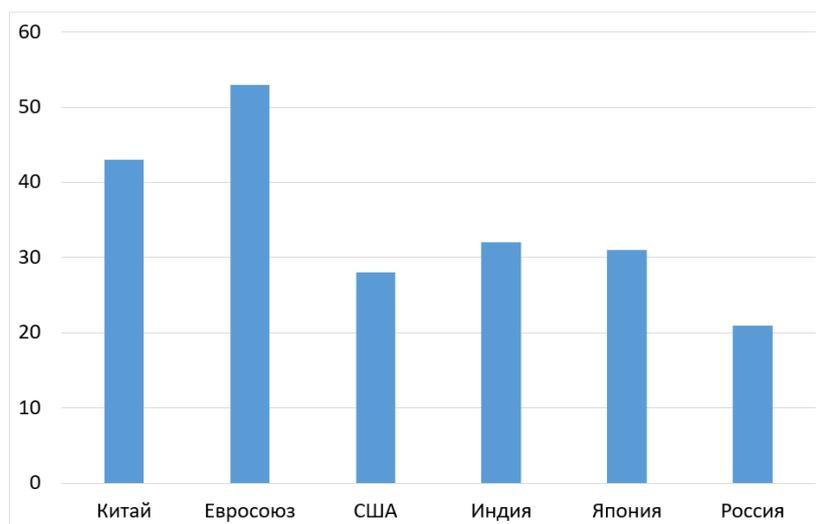


Рис. 1. Доля возобновляемой энергетики в различных странах в 2021 г., % (построен авторами по данным [4])

Fig. 1. Share of renewable energy in different countries in 2021, % (plotted by the authors based on data from [4])

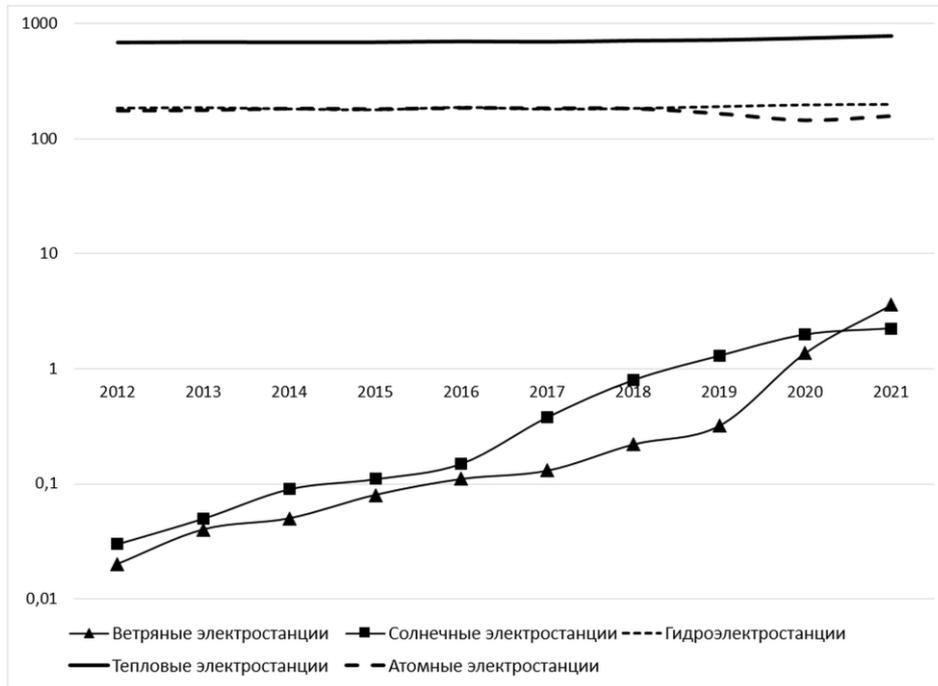


Рис. 2. Производство электроэнергии в России из различных источников, млрд кВт·ч (логарифмическая шкала) (построено автором по данным [5])

Fig. 2. Electricity production in Russia from various sources, billion kWh (logarithmic scale) (constructed by the author based on data from [5])

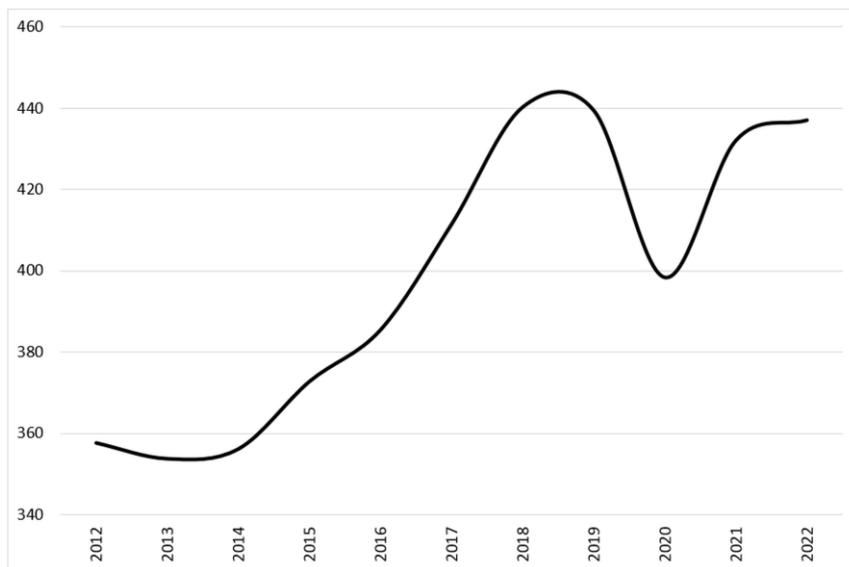


Рис. 3. Добыча угля в России, млн т (построено авторами по данным [6-7])

Fig. 3. Coal production in Russia, million tons (constructed by the authors based on data from [6-7])

превышает 0,5% в общем объеме энергопотребления в стране. При этом выработка энергии тепловыми электростанциями выросла за данный период на 14,7%, атомными электростанциями – сократилась на 10,2%, гидроэлектростанциями – увеличилась только на

4,2%. В целом доля электроэнергии, получаемой от тепловых электростанций в России, за 2012-2021 гг. выросла с 47,5 до 52,1%, что подтверждается ростом объемов добычи угля (Рис. 3) и его доли в производстве электроэнергии в стране с 48,9 до 51,3% [6].

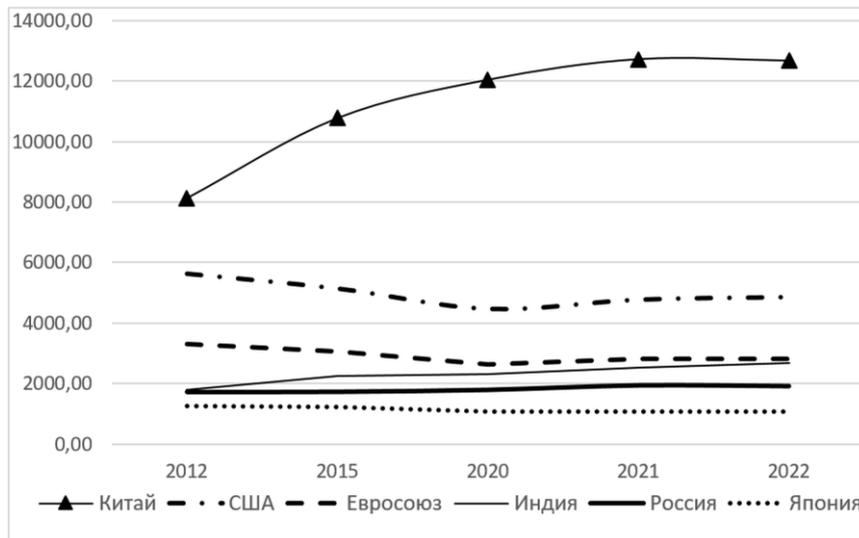


Рис. 4. Динамика выбросов CO₂ по странам, млн т (построено авторами по данным [8])

Fig. 4. Dynamics of CO₂ emissions by country, million tons (constructed by the authors based on data from [8])

Как следует из данных, отраженных на Рис. 2, разница между объемами энергии, получаемой от сжигания ископаемого топлива и использования ветра и солнца, составляет три порядка (до 2018 г. – более чем в тысячу раз). Несмотря на быстрый рост объемов энергии, получаемый от ветряных и солнечных электростанций в России (за десятилетие 2012-2021 гг. – порядка 150 раз), их доля не превышает 0,5% в общем объеме энергопотребления в стране. При этом выработка энергии тепловыми электростанциями выросла за данный период на 14,7%, атомными электростанциями – сократилась на 10,2%, гидроэлектростанциями – увеличилась только на 4,2%. В целом доля электроэнергии, получаемой от тепловых электростанций в России, за 2012-2021 гг. выросла с 47,5 до 52,1%, что подтверждается ростом объемов добычи угля (Рис. 3) и его доли в производстве электроэнергии в стране с 48,9 до 51,3% [6].

Как следует из данных, представленных на Рис. 3, на этапе до пандемии COVID-19 (2012-2019 гг.) рост объемов угледобычи в России составил 19,2%; при этом падение на 9,3% в 2020 г. было быстро компенсировано.

Заявляемая рядом спикеров цель движения к безуглеродной экономике видится декларативной на фоне роста мировых выбросов углекислого газа в атмосферу на 23,4% за 2012-2022 гг. [8], динамика которых по ведущим промышленным странам отражена на Рис. 4.

Как следует из данных, отраженных на Рис. 4, рост выбросов CO₂ в Китае на 55,3% сопровождается суммарным снижением их объемов в США, Евросоюзе и Японии на 42,5% за 2012-2022 гг. В России рост выбросов углекислого газа составил 10,8%, в Индии –

50,5%; в совокупности по данным шести стран общий рост составил 2,2%.

Сопоставив данные Рис. 1 и 4, можно сделать вывод о том, что в глобальном плане развитие современных видов возобновляемой энергетики не способно в обозримом будущем переломить тренд роста эмиссий CO₂ как основного фактора усиления климатических рисков, тем более обеспечить «бесшовный» – бескризисный Четвертый энергетический переход. А с учетом того, что рост спроса на энергию до конца 21 в. ожидается в масштабе 45-55% [6], с учетом текущих трендов развития энергосбережения за счет таких факторов, как рост числа электромобилей, увеличения мощностей хранения и обработки данных, а также развитие сетей связи 5 и 6G, радикального снижения роли ископаемых энергоносителей не предвидится.

Поэтому перспективным путем достижения указанных выше Целей устойчивого развития ООН в рамках Четвертого энергетического перехода выступает глубокая цифровизация добычи ископаемых углеводородов, прежде всего угля. От соединения цифровых технологий Индустрии 4.0 и геотехнологии ожидается достижение такой гибкости и экологичности производства, которая позволит сократить выбросы CO₂ без уменьшения выработки энергии. Вместе с тем все большее распространение получает идея о том, что Индустрия 4.0 не способна обеспечить будущие потребности человечества в дешевой и безопасной энергии без сокращения ее потребления и добычи энергоносителей, обусловленного изменениями климата. Напротив, потенциал взаимодействия людей и машин, который несет в себе Индустрия 5.0, способен «выстроить» добычу полезных ископаемых вокруг долгосрочных нужд



Рис. 5. Сквозные технологии Индустрии 5.0 [11]

Fig. 5. End-to End technologies of Industry 5.0 [11]

человечества и обеспечить баланс между энергией из ископаемых и возобновляемых источников [9]. Поэтому исследования трансформации технологической платформы Майнинга 4.0 к 5.0 неизбежно должны отражать коллаборацию людей и машин, равно как и межатраслевую интеграцию достижений Индустрии 4.0 (цифровые и конвергентные технологии, базирующиеся на Интернет, производстве микропроцессоров и наноматериалов) [10]. Для добычи полезных ископаемых важно соединение понятий «умный» и «устойчивый» как основа парадигмы Майнинга 5.0, что означает смену цифровых технологий с ориентированных на рынки на ориентированные на человека, поскольку приоритет Индустрии 4.0 – максимальная производительность цифровых систем – может в ближайшем будущем дестабилизировать рынки энергоносителей.

Сама по себе человекоцентричность Майнинга 5.0 означает, что именно люди, а не роботы являются конечными потребителями технологий, и их требования безопасности и предпочтения должны учитываться в процессе проектирования искусственного интеллекта, персонализированных устройств и оборудования, ориентированных на общественные потребности. Например, в «умных» шахтах и разрезах сенсоры могут быстро анализировать данные датчиков и изменять загрузку оборудования, объемы добычи в рамках отдельных участков, предприятий и целых угольных бассейнов. Далее, экологический акцент в развитии добычи угля и других твердых полезных ископаемых на платформе Индустрии 5.0 означает способность отрасли удовлетворять текущие потребности, не

ставя под угрозу обеспеченность природными ресурсами, безопасной средой и энергией будущих поколений, за счет всеобъемлющего контроля над их использованием уже на стадии проектирования. Это видится достижимым в процессе эволюции технологий Индустрии 4.0 до уровня 5.0 (Рис. 5).

Представленные на Рис. 5 технологии позволяют сделать выводы о том, что если воплощение Индустрии 4.0 в горном деле (Майнинг 4.0) освобождает человека от физического труда в пользу интеллектуального (и выводит человека из опасных и вредных производств), то Индустрия 5.0 освобождает и от интеллектуального труда в пользу активного творчества (эволюция промышленных технологий в направлении большей интеграции людей и машин, со взаимодействием между людьми, машинами и прорывными технологиями ради индивидуализации, гибкости и устойчивости). Это же означает, что на проектирование новых горнодобывающих предприятий и планирование объемов добычи будут влиять такие технологии, как аналитика Больших Данных, Интернет Всего, коллаборативные роботы, блокчейн, цифровые двойники и системы 6G [12]. Так, концепция роботизации в Индустрии 5.0 – «Автоматизация 5.0», направлена не на создание горных машин, способных заменить людей, а на достижение творческого взаимодействия и коллаборации между людьми и машинами [13].

Майнинг 5.0 как часть технологической платформы Индустрии 5.0

Внедрение технологий Индустрии 5.0 в добывающем секторе радикально меняет принципы недропользования [14], благодаря

чему будет обеспечена жизнедеятельность человека в условиях беспрецедентного роста общественных потребностей и возможностей, которые предоставляет Майнинг 5.0 со всей его человекоцентричностью. Искусственный интеллект позволяет создавать сложносценарные модели освоения новых и эксплуатации освоенных месторождений, восполняющие теоретический пробел в концепции Индустрии 4.0, заключающийся в недостижении глобальных целей устойчивого развития, связанных с бережливым недропользованием и обделением будущих поколений. Переход к Майнингу 5.0 возможен на основе разработки матриц требований к управлению недрами, которые позволят согласовать ценности топливно-энергетического комплекса с запросами общества на сокращение экологического ущерба от постоянно возрастающих объемов добычи ископаемых энергоносителей.

В концепции Майнинга 4.0 во главу угла ставилось радикальное повышение производительности труда и распространение беспилотных технологий Индустрии 4.0 без должного внимания к запросам общества не только на доступную и дешевую, но и устойчивую энергию, а также на возникающее противоречие между выгодой для развивающихся стран от производства дешевой энергии из ископаемых источников и выгодой для развитых стран от перехода на возобновляемые источники энергии [15]. Переход к Майнингу 5.0 призван содействовать разрешению данного противоречия в процессе внедрения цифровых систем Цифрового интегрированного майнинга (Computer Integrated Mining – CIM) – соединения цифровых систем планирования и управления процессами открытых и подземных горных работ, обогащения минерального сырья, прежде всего ископаемых энергоносителей, обеспечения

экологической безопасности в единых IT-системах горных предприятий и в отрасли в целом, в которых не будет «серых» зон цифровизации, и информация об актуальной потребности в добыче ископаемых энергоносителей будет анализироваться в реальном времени [16]. То есть переход к Майнингу 5.0 определяется не только как реализация человекоцентричной добычи полезных ископаемых (связанной с достижением определенных Целей Устойчивого Развития), но и высокой цифровой зрелостью добывающих предприятий. Под ней мы понимаем высокую степень вовлеченности отдельного предприятия и целой отрасли в процесс насыщения сквозными цифровыми технологиями.

Применительно к Майнингу 5.0 как неотъемлемой компоненте Индустрии 5.0 его сквозными (преобразующими всю отрасль) компонентами выступают цифровые «тройки» оборудования технологических процессов добычи полезных ископаемых, основанные на «дата-майнинге», коллаборативные роботы вместо безлюдного оборудования, применение искусственного интеллекта и машинного обучения при планировании горных работ, «умные» контракты между субъектами рынков энергоносителей, управляемые нейросетями.

Глобальный характер диффузии данных составляющих геотехнологии в 21 в. предполагает опору на генеративный искусственный интеллект при анализе Больших Данных от множества «умных» датчиков при принятии инженерных и управленческих решений без участия людей. В свою очередь, использование коллаборативных роботов как продвинутых систем машинного обучения позволит окончательно вывести человека из зон подземных горных работ и опасных участков открытых горных работ [17], что полностью соответствует человекоориентированному производству Майнинга 5.0 с приоритетом



Рис. 6. Концепция «облачного майнинга» в Майнинге 5.0 [20]

Fig. 6. The concept of "cloud mining" in Mining 5.0 [20]

охраны здоровья работников.

Цифровая трансформация геотехнологии до уровня Индустрии 5.0 связывается с «умным майнингом» – добычей и первичной переработкой угля коллаборативными роботами под управлением интеллектуальных систем машинного зрения и обучения [18]. При этом следует отметить образование специфических рисков кибербезопасности систем «умного майнинга», связанных с генерацией беспрецедентных объемов информации, которые могут превышать текущие возможности вычислительных систем. Рациональным путем снижения таких рисков является переход от киберфизических систем (Индустрия 4.0) к социально-экологическим киберфизическим системам (Индустрия 5.0) [19]. С точки зрения эволюции технологий, переход к Майнингу 5.0, целесообразно рассматривать в контексте развития концепции «Облачного Майнинга» с тотальной цифровизацией следующих направлений развития геотехнологии: цифровое проектирование и управление процессами, коллаборативный искусственный интеллект в принятии инженерных решений, компетенции Индустрии 5.0 у работников, перенос взаимодействий горных инженеров в облачные системы, облачная обработка данных с множества «умных» датчиков (Рис. 6).

Как следует из Рис. 6, облачные киберфизические технологии Майнинга обладают человекоцентричной интеллектуализацией и охватывают все цифровые технологии извлечения полезных ископаемых, включая «Интернет Всего». В результате сектор добычи ископаемых энергоносителей выходит на роль локомотива, а не тормоза достижения целей устойчивого развития.

Новая роль добывающих отраслей в переходе к Майнингу 5.0 связана со становлением новой модели к управлению качеством (Качество 5.0), что напрямую связано с воздействием добычи и сжигания углеводородов на окружающую среду и прежде всего на климат. Данная модель включает в себя: расширение творческих возможностей и разнообразие компетенций систем соединения человеческого и машинного интеллекта; гибкое и постоянное совершенствуемое руководство процессами добычи и переработки полезных ископаемых, принятие решений на основе анализа данных искусственным интеллектом; интегрированные и гибкие процессы; предиктивную аналитику, масштабируемость и подключение устройств в глобальные сети [21]. Развитие модели Качества 5.0 в Майнинге 5.0 способно дать результат, значимый для достижения целей устойчивого развития без отказа от ископаемых энергоносителей и реализации рисков энергетических кризисов.

Соединение геотехнологии (открытой и подземной) и технологий глубокой переработки угля в нескольких платформах Индустрии 5.0 – Энергия 5.0, Майнинг 5.0 и Наноматериалы 5.0 позволяет расширить границы получения чистого топлива – «коричневого» водорода из угля. Нанотехнологии здесь повышают эффективность каталитических процессов в устойчивом производстве водородного топлива [22]. Развитие сквозных технологий, граничащих с традиционной геотехнологией и производством экологически чистого топлива, формирует новый режим управления кластерами горнодобывающей промышленности, основанный на пяти цифровых средах: цифровые данные, технологии, компетенции работников, облачная форма управления предприятиями и их взаимодействием.

Все это требует усиления ESG-факторов (экологический – environment, social – социальный, управленческий – governance) инвестирования и социальной ответственности компаний, развития пост-майнинга. В частности, внедрение технологий замкнутого цикла в горнодобывающем секторе, биохимических технологий извлечения минеральных ресурсов, современных технологий охраны здоровья работников позволит ускорить переход к «зеленому майнингу» [23]. Развитие инвестиционной составляющей внедрения отдельных элементов Майнинга 5.0 как альтернативы концепции безуглеродной экономики означает трансформацию концепции ESG в EICSG (экологический фактор – environment, интеллектуальный – intelligent, цифровой – cyber), системе, в которой могут быть непротиворечиво объединены такие концепции устойчивого развития, как циркулярная, «зеленая», «голубая» и биоэкономика, «от колыбели до колыбели» (from cradle to cradle), экоинновации и регенеративный дизайн, промышленный симбиоз [24].

Домены геотехнологии будущего (Майнинг 5.0) – ядро человекоцентричных киберфизических систем платформы добычи твердых полезных ископаемых – включают в себя технологии машинного интеллекта, основанные на глубокой интеграции искусственного интеллекта с человеческими знаниями – интеллектуальное восприятие окружающей действительности, автономное познание, интеллектуальное принятие инженерных и управленческих решений. Они позволяют радикально повысить гибкость систем добычи и переработки полезных ископаемых и адаптировать добычу угля к будущим требованиям сокращения эмиссий парниковых газов.

Доменные технологии Индустрии 5.0, сегодня воплощаемые в системах генеративного искусственного интеллекта (таких как ChatGPT),

позволяют системно решать проблемы прогнозирования потребности в угле и других ископаемых энергоносителях при ожидаемых кратко-, средне – и долгосрочных изменениях климата (в т.ч. ветра и солнечной активности – основных источников возобновляемой энергии). Это позволит надолго закрепить роль топливно-энергетического комплекса как гаранта устойчивости поставок дешевой и доступной энергии в глобальном масштабе и снизить остроту дискуссий о безуглеродной экономике как ключевом инструменте в борьбе с изменениями климата. Другими доменными технологиями добычи твердых полезных ископаемых уровня Майнинг 5.0 являются цифровые «двойники» (оборудования и процессов) и «тройники» (оборудования, процессов и работников), а также виртуальные предприятия [25]. Они позволяют открытой и подземной технологии достичь высокого уровня цифровой зрелости благодаря свойству создавать и заполнять собой цифровые экосистемы, выводящие процессы добычи твердых полезных ископаемых на беспрецедентный уровень оптимизации.

Майнинг 5.0 как средство преодоления вызова безуглеродной экономики для минерально-сырьевого сектора

В целом к факторам глубокой цифровой трансформации отраслей, занятых в добыче ископаемых энергоносителей, прежде всего угля, до уровня Майнинг 5.0 относятся следующие:

- политические, связанные с воздействием экзогенных процессов и шоков рынков углеводородов и инвестиций;
- технологические – внедрение в открытую и подземную добычу угля комплексов беспилотного оборудования, предиктивной аналитики Больших Данных для оптимизации режима добычи, систем управления распределенной логистикой, основанных на искусственном интеллекте;
- экономические – ценовые, инвестиционные, налоговые, конкурентные.

Под действием данных факторов формируются дополнительные стимулы для EICSG-инвестиций – основы финансирования трансформации угольной отрасли до уровня Майнинг 5.0. Их человекоцентричность обусловлена цифровизацией и полной автоматизацией процессов в тех средах, где человеческие ошибки могут иметь катастрофические экологические последствия, напрямую связанные с массовыми выбросами парниковых газов (эндогенные пожары на месторождениях угля и торфа, взрывы и пожары на в местах складирования взрывчатых веществ и пр.). В связи с этим задача снижения рисков техногенных аварий катастроф в угольной отрасли вплоть до полного предотвращения ставится перед инструментами дополненной

реальности и системами интеллектуального обнаружения неисправностей и управления обслуживанием, а также гибридного и аддитивного производства [26]. Эти инструменты Майнинга 5.0 позволяют создавать виртуальные каталоги запасных частей и циклические модели опыта выявления и устранения, которые сами постоянно обновляют свои базы данных для предиктивного сервисного обслуживания – залога предотвращения аварий на горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях с масштабными экологическими последствиями [27].

В качестве препятствий глубокой цифровизации и системной интеграции «умных» объектов угольной отрасли на базе промышленного Интернета Всего можно выделить такие, как беспрецедентно высокие инвестиции, критические риски кибербезопасности (вплоть до остановки предприятий в результате стороннего вмешательства или внутренних сбоев информационных систем), недостаток продвинутых цифровых компетенций у основной массы работников. Не менее важным сдерживающим фактором перехода к Майнингу 5.0 выступает опережающее развитие цифровых технологий над геотехнологией (открытой и подземной).

Эти препятствия на пути перехода к Майнингу 5.0 рассматриваются в контексте интеллектуализации цепочек глобальных поставок горного оборудования отрасли, вдоль которых целесообразно развивать сотрудничество между странами-производителями горнодобывающего оборудования и странами, добывающими уголь, в области снижения выбросов CO₂.

Связь между инвестициями угольных холдинговых компаний в технологии «чистой» добычи угля и концентрацией в них капитала в холдинговых компаниях проявляется в «политике цифрового управления» угольными кластерами и всей отраслью, что обеспечивает ряд экологических преимуществ Майнинга 5.0:

- непрерывный анализ производственных рисков и прогнозирование выбросов CO₂;
- мониторинг экологической безопасности, основанный на широком применении «умных» датчиков, машинного зрения и анализа Больших Данных в облаке;
- передача компетенций и полномочий управления особо вредными производствами полностью автономным коллаборативным роботам [28].

Таким образом, переход горнодобывающей промышленности на уровень технологического развития Майнинг 5.0 с характерной человекоцентричностью цифровых технологий, дополняющих традиционную геотехнологию, позволил выявить многоаспектность этого

процесса, связанную с необходимостью интеграции достижения целей устойчивого развития и роста производительности труда, повышения его безопасности и роста уровня цифровых компетенций работников.

Заключение

Переход от Майнингу 5.0 как более реалистичная концепция развития добычи ископаемых углеводородов, нежели безуглеродная экономика, должен быть бесшовным, то есть минимизировать все риски, связанные с Четвертым энергетическим переходом, ассоциируемые с опасностью недопроизводства энергии и сбоев в энергопотреблении, вызванных кибератаками и человеческим фактором. Этого возможно достичь в ходе последовательного внедрения в добычу твердых полезных ископаемых цифровых технологий, которые сами проходят трансформацию от Интернета Вещей в Интернет Всего, от отдельных нейросетей в интегрированный с роботами генеративный искусственный интеллект, от цифровых двойников в цифровые тройники, от «умных» датчиков и оборудования в «умные» предприятия. Доменные технологии Индустрии 5.0, формируя платформу Майнинга 5.0, способны обеспечить удовлетворение растущих энергетических потребностей за счет гибкой добычи углеводородов и сократить вклад топливно-энергетического комплекса в негативное изменение климата, сняв с повестки безуглеродное развитие экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The UN Sustainable Development Goals. URL: <https://sdgs.un.org/goals> (последнее обращение: 10.08.2024).
2. Догуб А. А. Зеленая сделка – реальность, в которой надо жить // Энергетическая политика. 2020. № 10 (152). С. 34–39.
3. Кудрина Н. Энергопереход через климат // Вестник атомпрома. 2021. № 2. С. 8–10.
4. Renewable Energy Development Association. Russian renewable energy market: current status and development prospects. News bulletin. 2022. URL: https://www.bigpowernews.ru/photos/0/0_2jvO7UCErucpV7TiyyPSsSuTmxPXCA4.pdf (последнее обращение: 10.08.2024).
5. Росстат. Электробаланс 2021 года. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/elbalans_2021.xlsx (последнее обращение: 10.08.2024).
6. Росконгресс. Угольная отрасль Помощь Азии и умение выживать. 2023. URL: https://roscongress.content.rcmedia.ru/upload/Ugolnay_a_otrasl.pdf (последнее обращение: 10.08.2024).
7. Петренко И. Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. 2022. № 3. С. 9–23.
8. European Commission. EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Research. GHG emissions of all world countries. 2023 Report. URL: https://roscongress.content.rcmedia.ru/upload/Ugolnay_a_otrasl.pdf (последнее обращение: 10.08.2024).
9. Плакиткин Ю. А., Плакиткина Л. С., Дьяченко К. И. От цифровизации к «Индустрии 4.0» и «Обществу 5.0» – возможности адаптации угольной промышленности России, прогнозы развития отрасли до 2040 г. // Горная Промышленность. 2018. № 5 (141). С. 56–61.
10. Akman A. Z., Erdirencelebi M. A human-centered digital transformation: a bibliometric analysis of society 5.0 and industry 5.0 // Istanbul Management Journal. 2024. Vol. 96. Pp. 1–16.
11. Sharma M., Tomar A., Hazra A. Edge Computing for Industry 5.0: Fundamental, Applications, and Research Challenges // Ieee Internet of Things Journal. 2024. Vol. 11(11). Pp. 56–69.
12. Singh J., Verma K.K. Industry 4.0 to Industry 5.0: A Paradigm Shift towards Sustainable and Human Centric Production // Commerce Research Review. 2024. Vol. 1 No. 2. Pp. 00153.
13. Vlacic L., Hailong H., Dotoli MsFei-Yue W. Automation 5.0: The Key to Systems Intelligence and Industry 5.0 // IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. 2024. Vol. 11(8). Pp. 1723–1727.
14. Нигматуллина Э. Ф. Сочетание публичных и частных способов регулирования недропользования // Вестник ОмГУ. Серия. Право. 2014. № 2. С. 155–160.
15. Zhironkin S., Rybar R. Sustainable Development Processes for Renewable Energy Technology II: An Overview // Processes. 2024. Vol. 12. 846.
16. Жиронкин С. А., Коновалова М. Е. Перспективы перехода к майнингу 5.0 – геотехнологии второй половины XXI В. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 2. С. 45–56.
17. Kumar P., Singh D., Bhamu J. Machine Vision in Industry 4.0: Applications; Challenges and Future Directions. In: Machine Vision for Industry 4.0. Applications and Case Studies; Raut, R., Krit, S., Chatterje, P., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA. 2022. Pp. 1–13.
18. Radosavljević S. Possibilities of practical implementation of Industry 5.0: Expected changes and risks in mining. Proceedings of Conference: XIX International May Conference on Strategic Management – IMCSM24, 2024.
19. Chen L., Xie J., Zhang X., Deng J., Ge S., Wang F.-Y. Mining 5.0: Concept and Framework for Intelligent Mining Systems in CPSS // Transactions on Intelligent Vehicles. 2023. Vol. PP(99). Pp.1–4.
20. 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.
21. Fiałkowska-Filipek M., Dobrowolska A. Quality 5.0: Towards sustainable quality improvement in organizations // Ekonomia – Wrocław Economic Review. 2023. Vol. 29/3. Pp. 4193.

22. El Zein B., Elrashidi A., Dahlan M., Al Jarwan A., Jabbour G. Nano and Society 5.0: Advancing the Human-Centric Revolution. In book: Industry 4.0 Transformation towards Industry 5.0 Paradigm – Challenges, Opportunities and Practices. IntechOpen. 2024. Pp. 1–26.

23. 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.

24. Babkin A., Shkarupeta E., Danilov D., Tashenova L., Nosirov I. From ESG to EICSG (Environment, Intelligent, Cyber, Social, Governance) strategic management in Industry 5.0 // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 531. Pp. 05017.

25. Жиронкина О. В. Становление Майнинга 4.0 как отраслевой инновационной технологической платформы Индустрии 4.0 в свете достижения технологического суверенитета // Экономика и

управление инновациями. 2022. № 3 (22). С. 60–77.

26. Longo F., Padovano A., Gazzaneo L., Frangella J., Diaz R. Human factors, ergonomics and Industry 4.0 in the Oil&Gas industry: a bibliometric analysis // Procedia Computer Science. 2021. Vol. 180. Pp. 1049–1058.

27. Barbosa W. S., Gouvea F. C., Martins A. R. F. A., Belmonte S. L. R., Wanderley R. F. F. Development of Spare-Parts Process Chain in Oil & Gas Industry Using Industry 4.0 Concepts // International Journal of Engineering and Technology. 2022. Vol. 14. № 2. Pp. 103–112.

28. Дмитриевский А. Н., Мастепанов А. М., Еремин Н. А., Сафарова Е. А., Столяров В. Е. Цифровые технологии, применяемые российскими вертикально интегрированными нефтяными компаниями в условиях перехода к экономике больших данных. Neftegaz.ru. 2023. № 9 (14) С. 84–90.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Жиронкин Сергей Александрович, доктор экон. наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: zhironkinsa@kuzstu.ru

Коновалова Мария Евгеньевна, доктор экон. наук, профессор, Самарский государственный экономический университет, (443090, Россия, г. Самара, ул. Советской Армии, 141), e-mail: esun@sseu.ru

Абу-Абед Фарес Надимович, кандидат технических наук, доцент, Тверской государственный технический университет, (170026 г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22), e-mail: aafares@tstu.tver.ru

Заявленный вклад авторов:

Жиронкин Сергей Александрович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, написание текста.

Коновалова Мария Евгеньевна – концептуализация исследования, выводы.

Абу-Абед Фарес Надимович – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

HUMAN-CENTRIC MINING TECHNOLOGIES 5.0 AS AN ALTERNATIVE TO A CARBON-FREE ECONOMY

Sergey A. Zhironkin¹, Maria E. Konovalova²
Fares N. Abu-Abed³

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

²Samara State Economic University

³Tver State Technical University

*for correspondence: zhironkinsa@kuzstu.ru



Abstract.

The article presents an analysis of human-centric technologies of Industry 5.0, which, subject to integration with geotechnology (open and underground), allows to bring mining industries to a new stage of

Article info

Received:
22 May 2024

Accepted for publication:
25 July 2024

Accepted:
29 August 2024

Published:
26 September 2024

Keywords: Mining 5.0, geotechnology, Industry 5.0, post-mining, cyber systems, Sustainable Development, Carbon-Free Economy

development – Mining 5.0. As a technological platform for the development of the mineral resource complex, Mining 5.0 is capable of becoming an alternative to the concept of a carbon-free economy – a condition for achieving the UN Sustainable Development Goals related to providing cheap and accessible energy and combating climate change. The characteristic digital human-centric technologies of Mining 5.0 are highlighted, the diffusion of which in the mineral resources sector is capable of radically increasing productivity and reducing the burden on the environment - the Internet of Everything, digital tees, generative artificial intelligence, machine vision and learning, "smart" enterprises, etc. The feasibility of their implementation is justified by the high risks of the Fourth Energy Transition, in which reliance on renewable energy sources contradicts the achievements of sustainable development goals and threatens large-scale energy crises in developing countries. The conditions for the development of Mining 5.0 are defined – the transition from the automation of mining equipment to collaborative robotic systems, from "smart" sensors and equipment to "smart" enterprises, from the digitalization of individual processes to the "cloud" organization of mining production, from reclamation to post-mining. It has been established that the transition of the mining industry to the level of technological development Mining 5.0 with the characteristic human-centricity of digital technologies complementing traditional geotechnology has made it possible to identify the multifaceted nature of this process associated with the need to integrate the achievement of sustainable development goals and growth in labor productivity, improving its safety and increasing the level of digital competencies of workers.

For citation: Zhironkin S.A., Konovalova M.E., Abu-Abed F.N. Human-centric Mining technologies 5.0 as an alternative to a carbon-free economy. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 4(164):97-108. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-97-108, EDN: TJKWUB

REFERENCES

1. *The UN Sustainable Development Goals*. URL: <https://sdgs.un.org/goals> (last access: 10.08.2024).
2. Doguab A. A. Zelenaja sdelka – real'nost', v kotoroj nado zhit'. *Jenergeticheskaja politika*. 2020; 10(152):34–39.
3. Kudrina N. Jenergoperehod cherez klimat. *Vestnik atomproma*. 2021; 2:8–10.
4. *Renewable Energy Development Association. Russian renewable energy market: current status and development prospects. News bulletin*. 2022. URL: https://www.bigpowernews.ru/photos/0/0_2jvO7UCeruqcpV7TiyPSsSuTmxPXCA4.pdf (last access: 10.08.2024).
5. Rosstat. *Jelektrobalans 2021 goda*. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/elbalans_2021.xlsx (last access: 10.08.2024).
6. Roskongress. *Ugol'naja otrasl' Pomoshh' Azii i umenie vyzhivat'*. 2023. URL: https://roscongress.content.rcmedia.ru/upload/Ugolnaya_otrasl.pdf (last access: 10.08.2024).
7. Petrenko I.E. Itogi raboty ugol'noj promyshlennosti Rossii za 2021 god. *Ugol'*. 2022; 3:9–23.
8. European Commission. *EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Re-search. GHG emissions of all world countries. 2023 Report*. URL: https://roscongress.content.rcmedia.ru/upload/Ugolnaya_otrasl.pdf (last access: 10.08.2024).
9. Plakitkin Ju.A., Plakitkina L.S., D'jachenko K.I. Ot cifrovizacii k «Industrii 4.0» i «Obshhestvu 5.0» – vozmozhnosti adaptacii ugol'noj promyshlennosti Rossii, prognozy razvitija otrasli do 2040 g. *Gornaja Promyshlennost'*. 2018; 5(141):56–61.
10. Akman A.Z., Erdirençelebi M. A human-centered digital transformation: a biblio-metric analysis of society 5.0 and industry 5.0. *Istanbul Management Journal*. 2024; 96:1–16.
11. Sharma M., Tomar A., Hazra A. Edge Computing for Industry 5.0: Fundamental, Applications, and Research Challenges. *Ieee Internet of Things Journal*. 2024; 11(11):56–69.
12. Singh J., Verma K.K. Industry 4.0 to Industry 5.0: A Paradigm Shift towards Sustainable and Human Centric Production. *Comerce Research Review*. 2024; 1(2):00153.
13. Vlacic L., Hailong H., Dotoli MsFei-Yue W. Automation 5.0: The Key to Systems Intelligence and Industry 5.0. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2024; 11(8):1723–1727.
14. Nigmatullina Je.F. Sochetanie publicnyh i chastnyh sposobov regulirovanija nedropol'zovanija. *Vestnik OmGU. Serija. Pravo*. 2014; 2:155–160.

15. Zhironkin S., Rybar R. Sustainable Development Processes for Renewable Energy Technology II: An Overview // *Processes*. 2024; 12:846.

16. Zhironkin S.A., Konovalova M.E. Perspektivy perehoda k majningu 5.0 – geotehnologii vtoroj poloviny XXI V. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2024; 2:45–56.

17. Kumar P., Singh D., Bhamu J. Machine Vision in Industry 4.0: Applications; Chal-lenges and Future Directions. In: *Machine Vision for Industry 4.0. Applications and Case Studies*. Raut, R., Krit, S., Chatterje, P., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA. 2022. Pp. 1–13.

18. Radosavljević S. Possibilities of practical implementation of Industry 5.0: Expected changes and risks in mining. *Proceedings of Conference: XIX International May Conference on Strategic Management – IMCSM24*. 2024.

19. Chen L., Xie J., Zhang X., Deng J., Ge S., Wang F.-Y. Mining 5.0: Concept and Framework for Intelligent Mining Systems in CPSS. *Transactions on Intelligent Vehicles*. 2023; PP(99):1–4.

20. Bi L., Wang Z., Wu Z., Zhang Y. A New Reform of Mining Production and Man-agement Modes under Industry 4.0: Cloud Mining Mode. *Applied Sciences*. 2022; 12:2781.

21. Fiałkowska-Filipek M., Dobrowolska A. Quality 5.0: Towards sustainable quality improvement in organizations. *Ekonomia – Wrocław Economic Review*. 2023; 29/3:4193.

22. El Zein B., Elrashidi A., Dahlan M., Al Jarwan A., Jabbour G. Nano and Society 5.0: Advancing the Human-Centric Revolution. In book: *Industry 4.0 Transformation towards Industry 5.0*

Paradigm – Challenges, Opportunities and Practices. IntechOpen. 2024. Pp. 1–26.

23. Abu-Abed F.N. Primenenie tehnologij intellektual'nogo upravljenija i biznes-proektirovanija Industrii 5.0 v Majninge 5.0. *Jekonomika i upravljenje innovacijami*. 2022; (22):50-59.

24. Babkin A., Shkarupeta E., Danilov D., Tashenova L., Nosirov I. From ESG to EICSG (Environment, Intelligent, Cyber, Social, Governance) strategic management in Indus-try 5.0. *E3S Web of Conferences*. 2024; 531:05017.

25. Zhironkina O.V. Stanovlenie Majninga 4.0 kak otraslevoj innovacionnoj tehnologicheskoy platformy Industrii 4.0 v svete dostizhenija tehnologicheskogo suvereniteta. *Jekonomika i upravljenje innovacijami*. 2022; 3(22):60–77.

26. Longo F., Padovano A., Gazzaneo L., Frangella J., Diaz R. Human factors, ergo-nomics and Industry 4.0 in the Oil&Gas industry: a bibliometric analysis. *Procedia Computer Science*. 2021; 180:1049–1058.

27. Barbosa W.S., Gouvea F.C., Martins A.R.F.A., Belmonte S.L.R., Wanderley R.F.F. Development of Spare-Parts Process Chain in Oil & Gas Industry Using Industry 4.0 Concepts. *International Journal of Engineering and Technology*. 2022; 14(2):103–112.

28. Dmitrievskij A.N., Mastepanov A.M., Eremin N.A., Safarova E.A., Stolja-rov V.E. Cifrovye tehnologii, primenjaemye rossijskimi vertikal'no integriro-vannymi neftjanymi kompanijami v uslovijah perehoda k jekonomike bol'shih dannyh. *Neftegaz.ru*. 2023; 9(14):84–90.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Sergey A. Zhironkin, Doctor of Economics. Sciences, Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennya st., 28), e-mail: zhiron-kinsa@kuzstu.ru

Maria E. Konovalova, Doctor of Economics. Sciences, Professor, Samara State Economic University, (443090, Russia, Samara, Krasnoy Armii st., 141), e-mail: ecun@sseu.ru

Fares N. Abu-Abed, PhD in Engineering, Associate Professor, Tver State Technical University, (170026 Tver, nab. Afanasy Nikitin, 22), e-mail: aafares@tstu.tver.ru

Contribution of the authors:

Sergey A. Zhironkin– setting a research task, scientific management, writing a text.

Maria E. Konovalova– conceptualization of research, conclusions.

Fares N. Abu-Abed - review of relevant literature, data collection and analysis.

All authors have read and approved the final manuscript.

