

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ, ГОРНЫЕ МАШИНЫ  
GEOTECHNOLOGY, MINING MACHINES**

Научная статья

УДК 622.235

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-45-56

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕХОДА К МАЙНИНГУ 5.0 – ГЕОТЕХНОЛОГИИ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XXI В.****Жиронкин Сергей Александрович<sup>1</sup>,  
Коновалова Мария Евгеньевна<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,<sup>2</sup>Самарский государственный экономический университет,

\* для корреспонденции: zhironkinsa@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

01 мая 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 мая 2024 г.

Принята к публикации:

29 мая 2024 г.

Опубликована:

13 июня 2024 г.

**Ключевые слова:**геотехнология, Майнинг 4.0,  
Майнинг 5.0, пост-майнинг,  
безлюдное производство,  
Индустрия 4.0, Индустрия 5.0**Аннотация.**

В статье дан анализ современных этапов развития геотехнологии – Майнинга 4.0 и 5.0; приведены их характерные технологии «ядра», связывающие с новейшими ступенями научно-технической революции – Индустрии 4.0 (первая половина XXI в.) и 5.0 (вторая половина XXI в.). Выделены наиболее перспективные для технологической модернизации горнодобывающих отраслей цифровые технологии Индустрии 4.0 – Интернет вещей, цифровые двойники и 3D-визуализация, нейросети и искусственный интеллект, машинное зрение, блокчейн, «умные» датчики и пр. Обоснована их применимость для повышения производительности труда в горнодобывающих отраслях в условиях экспансии производства энергии из альтернативных источников, ужесточения требований к охране труда и окружающей среды. Сформулированы условия перехода от Майнинга 4.0 к 5.0 – воплощение концепции человекоцентричного производства, радикальное повышение требований к безопасности труда и охране окружающей среды, обеспечение устойчивого развития добычи твердых полезных ископаемых параллельно с расширением доли возобновляемых источников энергии. Определена технологическая платформа Майнинга 5.0, основанная на прорывных цифровых достижениях Индустрии 4.0 – продвинутый Облачный и Компьютерно-интегрированный майнинг, пост-майнинг, Интернет Всего и коллаборативные роботы, киберфизические системы, дополненная реальность для массового перехода от отдельного безлюдного оборудования к безлюдным горнодобывающим предприятиям..

**Для цитирования:** Жиронкин С.А., Коновалова М.Е. Перспективы перехода к майнингу 5.0 – геотехнологии второй половины XXI в. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 2 (162). С. 45-56. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-45-56, EDN: FLFVQB

Перспективы добычи твердых полезных ископаемых к середине XXI в. во многом определяются быстрой экспансией возобновляемой энергетики, «подстегиваемой» развитием технологий Индустрии 4.0. В связи с этим без глубокой технологической трансформации горнодобывающего сектора развитие добычи полезных ископаемых не позволит бездефицитно обеспечить энергией

будущие поколения. Такая трансформация традиционной геотехнологии в русле Индустрии 4.0 носит название Майнинга 4.0 [1], который во второй половине XXI в. может смениться Майнингом 5.0, выводящим процессы добычи твердых полезных ископаемых на недостижимый ранее уровень производительности, экологической эффективности и безопасности труда. Предпосылкой перехода к Майнингу 5.0

является формирование новой глобальной технологической платформы промышленности – Индустрия 5.0 [2].

Разница между Индустрией 4.0 и 5.0 заключается в перенаправлении волны цифровых промышленных инноваций на человекоцентричные цели устойчивого развития. Цифровые технологии, получившие становление в ходе Четвертой промышленной революции – Интернет вещей, искусственный интеллект, киберфизические системы, «умные» роботы, аналитика Больших данных, блокчейн и пр. – в среде Индустрии 5.0 преобразуются в «инновации на благо человека и природы» [3]. К числу ключевых факторов перехода от Индустрии 4.0 к 5.0 относятся: экспансия цифровых двойников физических систем, радикально повышающих производительность отдельных видов и комплексов промышленного оборудования; опора на искусственный интеллект при прогнозировании и профилактике отказов оборудования и возникновения аварийных ситуаций; итерационное имитирование в проектировании горных работ искусственным интеллектом при помощи машинного обучения; замена людей – операторов машин – коллаборативными роботами, периодически взаимодействующими с людьми; переход планирования горных работ на одном предприятии к планированию в рамках группы компаний и всей отрасли на базе аналитики Больших данных и машинного обучения.

Также переход от Майнинга 4.0 к 5.0 связан с трансформацией процессов добычи ископаемых

энергоносителей и производства тепловой энергии в интегрированную форму, их связи с системами возобновляемой энергетики и рециркуляционной экономики. Применительно к добыче полезных ископаемых это означает развитие межмашинных коммуникаций на основе Интернета Всего, повсеместного использования «умных» датчиков, переход к «умным» поставкам оборудования, материалов и добытого сырья и пр. [4] Это дает возможность, к примеру, угольной отрасли как составляющей производства тепловой энергии возможность достичь определенного паритета с возобновляемой энергетикой в будущем с учетом ускорения ее развития как по стоимости, так и по экологичности [5].

### Платформа цифровых и конвергентных технологий Индустрии 5.0 – основа перехода к Майнингу 5.0

В обозримом будущем добыча твердых полезных ископаемых, в особенности энергоносителей, неизбежно пройдет через интеграцию людей и машин в человекоцентричную инновационную среду Индустрии 5.0, для которой характерны: интеграция деятельности человека и машины в «дополненный» труд – творческий, интуитивно-обусловленный, но без чрезмерной автоматизации; формирование гибких и распределенных цепочек добычи энергоносителей и их сжигания в соответствии с потребностями в энергии и достижениями в сфере энергосбережения; снижение угроз безопасности труда практически до нуля [6]. Существует несколько ключевых направлений

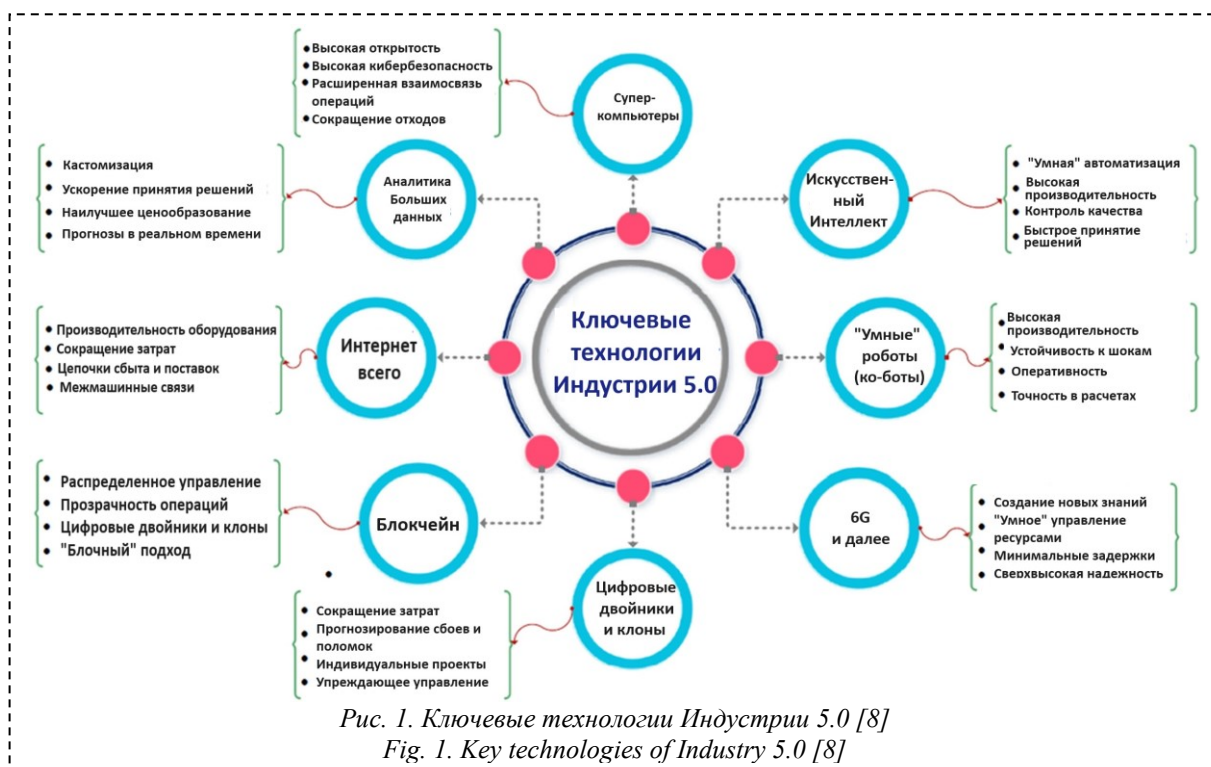


Рис. 1. Ключевые технологии Индустрии 5.0 [8]

Fig. 1. Key technologies of Industry 5.0 [8]

развития Индустрии 5.0: технологии энергоэффективного использования возобновляемых и автономных источников энергии, индивидуальное взаимодействие человека и машины, нано-биотехнологии, цифровые двойники, Интернет Всего, «дополненный» человеческий и искусственный интеллект [7].

оборудованию в горнодобывающей промышленности к 2030 г. оформились еще в 2009 г., когда доминирующей технологической платформой был Майнинг 3.0 [9]. Цифровая трансформация, формирующая ядро технологий Майнинга 4.0, позволила перейти к принципиально новой системе управления процессами и отдельными операциями, в которой

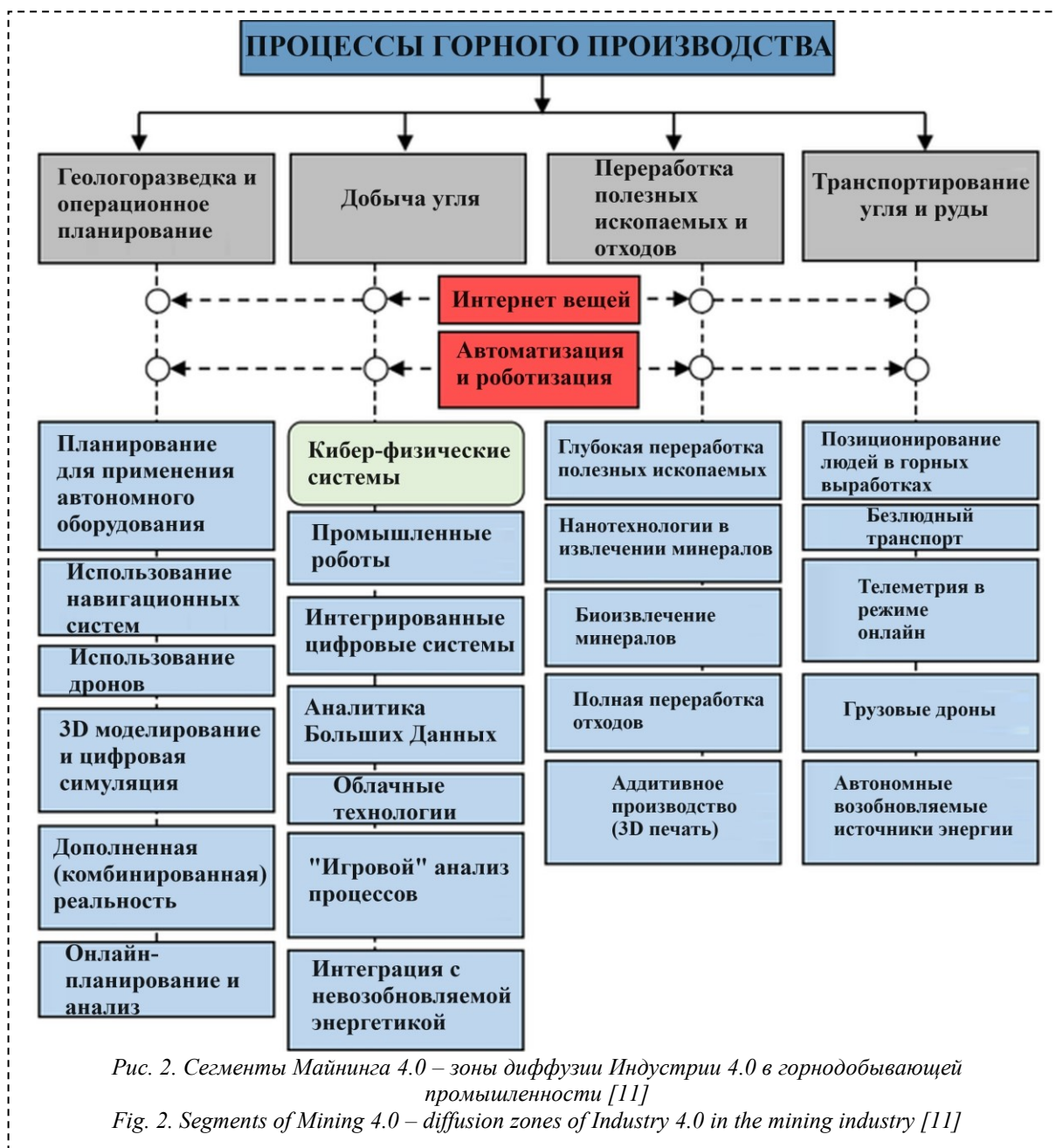


Рис. 2. Сегменты Майнинга 4.0 – зоны диффузии Индустрии 4.0 в горнодобывающей промышленности [11]

Fig. 2. Segments of Mining 4.0 – diffusion zones of Industry 4.0 in the mining industry [11]

В целом ключевые технологии Индустрии 5.0 рассматриваются как часть процесса с переходом к Обществу 5.0 – реализации запроса на устойчивое развитие и бесперебойное обеспечение энергией через интеграцию физического и киберпространства (Рис. 1).

Ожидания перехода к управляемым при помощи цифровых Интернет-технологий технологическим цепочкам и входящему в них

вовлечено сверх-высокопроизводительное оборудование, и «перекинуть мост» к Майнингу 5.0 путем соединения не отдельных технологий (конвергенции [10]), а человека и машины.

В новой системе развития геотехнологии основное место занимают киберфизические системы и Интернет вещей, что позволяет разрешить противоречие между радикальным повышением производительности труда и

выходом на новый уровень его безопасности. Наряду с этим цифровая платформа Майнинга 4.0 неотделима от обеспечения кибербезопасности добывающих предприятий. Проникновение (диффузия) технологий Индустрии 4.0 в горнодобывающую отрасль, в результате которого формируется Майнинг 4.0, отражено на Рис. 2.

работа совместно с «умными» роботами [12]. Например, ожидается, что «шахтеры будущего» смогут активно получать онлайн помощь от работников инженеринговых служб через интерактивные VR-очки, передавать специалистам по охране труда и экологам информацию об окружающей среде и получать от них информацию о состоянии здоровья,



Новая геотехнология XXI в., формируемая в результате перехода к Майнингу 5.0, подчас называется Компьютерно-интегрированный майнинг (Computer Integrated Mining, CIM). Его сущность заключается в соединении цифровых систем планирования и управления процессами открытых и подземных горных работ, обогащения минерального сырья, прежде всего ископаемых энергоносителей, обеспечение экологической безопасности, соответствующей уровню Индустрии 4.0 и в перспективе – 5.0. В результате формируются единые IT-системы горных предприятий и отрасли в целом, в которых не будет «серых» зон цифровизации.

В такой цифровой экосистеме CIM формируется путь перехода от Майнинга 3.0 к 4.0 и далее к 5.0, связанный с изменением роли человека – «шахтера будущего», который, по сути, является Оператором 4.0, обладающим новыми компетенциями, характерными для киберфизических систем: использование биомеханической поддержки и интеграции цифрового и физического мира в дополненной реальности, применение «умных» датчиков,

использовать интеллектуальные персональные помощники для взаимодействия с оборудованием. В результате внедрения наиболее перспективной технологии Индустрии 4.0 – Интернета вещей (IoT) – в Майнинге 4.0 возникает возможность удалить человека из вредных и опасных условий горных работ.

Поскольку Интернет Вещей в Майнинге 4.0 тесно связан с Интернетом Энергии, формируются новые принципы архитектуры энергетической сети горных предприятий, в которую включаются, наряду с электрическими приводами высокой удельной мощности, устройства типа plug-and-play, сонаправленные потоки энергии и информации о ее потреблении, интеграция энергии из возобновляемых и невозобновляемых источников, движение конфиденциальной информации горнотехнических инспекторов в сети блокчейн, развитие межмашинного взаимодействия на базе Интернета вещей для снижения энергопотребления. В свою очередь, использование Интернета вещей для мониторинга состояния горного оборудования

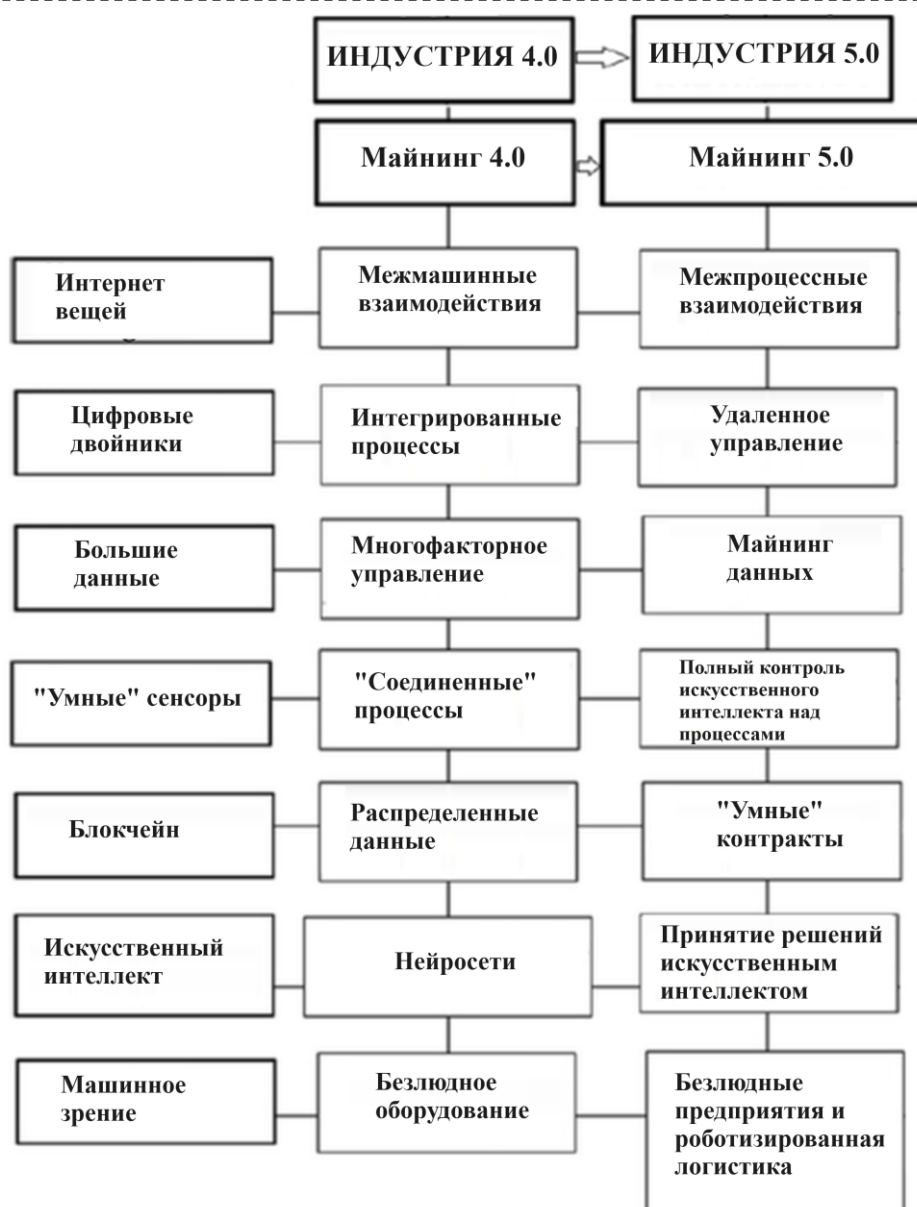


Рис. 4. Эволюция инновационных технологий от Индустрии 4.0 к 5.0 [14]

Fig. 4. Evolution of innovative technologies from Industry 4.0 to 5.0 [14].

также происходит в режиме реального времени. В целом применение Интернета Вещей в Майнинге 4.0 достаточно многогранно и выходит за рамки взаимодействия машин между собой и с операторами (Рис. 3).

Технологическая платформа Майнинга 5.0, по сути, должна дать ответ на вопрос, что технологии Индустрии 5.0 могут сделать для потребителей энергии из ископаемых углеводородов. Поэтому, взаимодействуя с людьми, «умные» роботы смогут выйти за границы производительности горнодобывающего оборудования, характерные для Индустрии 4.0 (Рис. 4).

Другая технология ядра Майнинга 4.0 – цифровые двойники – есть киберфизические системы, позволяющие преодолеть ограничения неодинаковой скорости обработки и передачи

информации в различных цифровых системах (мобильных устройствах, ноутбуках, контроллерах горного оборудования) для радикального повышения производительности всей цепочки добычи и обогащения полезного ископаемого благодаря асинхронным требованиям к программному обеспечению. Динамические связи между оборудованием посредством Интернета вещей и машинного видения в рамках одного предприятия дают возможность преодолеть ограничения производительности, связанные с разной вычислительной мощностью оборудования при обработке больших объемов информации, для чего и требуются цифровые двойники. Благодаря асинхронности функционирования различных программно-аппаратных комплексов на горном предприятии линейная организация процессов



Рис. 5. Цифровые двойники в Майнинге 4.0 [15]

Fig. 5. Digital twins in Mining 4.0 [15]



Рис. 6. Робот-инспектор проверяет работу шахтного конвейера [16]

Fig. 6. Robot inspector checks the operation of the mine conveyor [16]

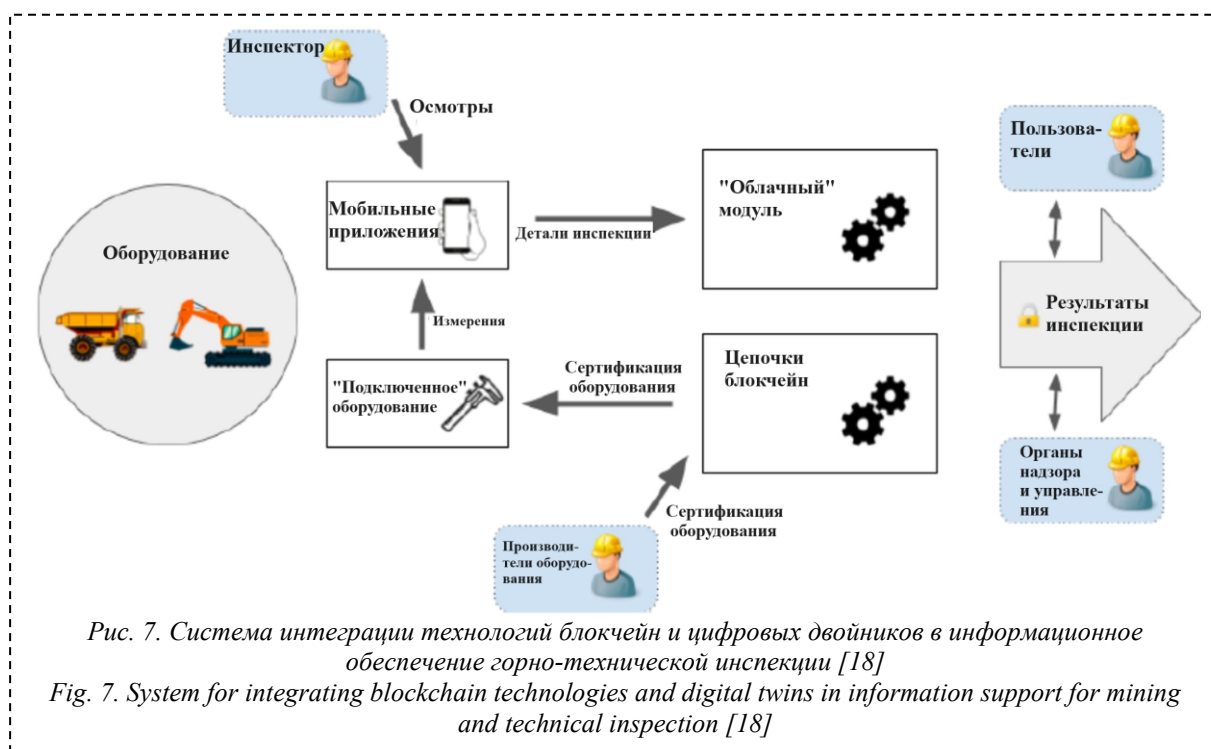
горных работ превращается в многозвенную сеть, в которой разные подключенные пользователи управляют процессами в режиме реального времени (Рис. 5).

Важной технологией ядра Майнинга 4.0, развивающейся вместе с Интернетом вещей, являются «умные» сенсоры, которые позволяют получать, обрабатывать и встраивать в интерактивные модели различную информацию о состоянии людей, оборудования и горного массива, ускоряя машинный анализ информации до уровня готовности, приемлемого для принятия инженерных решений людьми. К примеру, автономная интеллектуальная система мониторинга шахтных конвейеров (Belt 4.0) позволяет спрогнозировать критический износ узлов и предотвратить остановку конвейера, а также оптимизировать его загрузку (Рис. 6).

Технология блокчейна в Майнинге 4.0 развивается в сторону движения информации между цепочками блоков в распределенной сети, охватывающей не один сектор (что характерно для финансов и криптовалют), а несколько смежных отраслей (добычу полезных ископаемых, их обогащение и сжигание на

тепловых электростанциях, а также интегрированное управление возобновляемой и невозобновляемой энергетикой). В результате формируется межотраслевая цифровая экосистема, основанная на распределенной сети типа «кроссчейн», в которой информацию об отдельных процессах можно транслировать всем участникам цепочки добычи, обогащения и сжигания ископаемых энергоносителей, и обмен данными радикально интенсифицируется [17].

Другое применение технологии блокчейн в добыче ископаемых энергоносителей связано с инспекцией горных работ, активов горнодобывающих компаний и обеспечения безопасности труда. Использование распределенного хранения данных позволяет сделать горнотехническую инспекцию в максимальной степени беспристрастной благодаря тому, что производители оборудования, владельцы компаний, органы власти и горные инспекторы будут взаимодействовать на основе передовой цифровой архитектуры, включающей в себя блокчейн, мобильные приложения с цифровыми двойниками, модуль облачных вычислений, а



также подключенные периферийные устройства (Рис. 7).

Место нейросети в ядре технологической платформы Майнинга 5.0 в большей степени, чем 4.0, определяется постоянно усложняющимися связями между энергоэффективностью добывающего сектора и долей ископаемых энергоносителей в энергетическом балансе отдельных стран и всего мира. Для моделирования этих связей в поиске оптимума использования ископаемых и возобновляемых источников энергии роль нейросетей нельзя переоценить. На них возлагается решение смешанно-целочисленной задачи линейного программирования с задействованием больших вычислительных мощностей, в ходе поэтапного итеративного подбора комбинаций значений потребляемых горнодобывающей отраслью ресурсов и производимой энергии с последующим применением алгоритма ветвления и отсечения [19].

Применение аналитического инструментария нейросети позволяет принимать инженерное решение при помощи искусственного интеллекта, опираясь на данные, поступающие от «роя сенсоров». Это играет особую роль в обогащении полезных ископаемых, в частности, при разработке бедных месторождений на периферии крупных залежей с низкой маргинальной доходностью.

#### Человекоориентированное ядро Майнинга 5.0 – геотехнологии будущего

Критерием эффективности перехода от Майнинга 3.0 к 4.0 в производстве ископаемых энергоносителей называют экономию до 20%

всех производимых энергоносителей, а к Майнингу 5.0 – дополнительно 22% [6]. Оптимизация добычи ископаемых энергоносителей также возможна за счет создания «цифрового двойника» для каждого горнодобывающего предприятия и тепловой электростанции, работающей на угле, и создания интеллектуально оптимизированного ответа с помощью продвинутой аналитики Больших данных в режиме реального времени.

Индустрия 5.0 дает возможность для перехода к замкнутому циклу в добыче твердых полезных ископаемых, что позволит существенно увеличить экономию ископаемого топлива и снизить уровень парниковых газов. Радикальное отличие технологий Майнинга 5.0 связано с его человекоориентированным ядром – соединением человека и машины цифровыми технологиями вместо автоматизации отдельных процессов, дополнение человеческого интеллекта машинным (Таблица 1).

Человекоориентированность Майнинга 5.0 имеет важный экологический аспект – радикальное сокращение воздействия добычи ископаемого топлива и его сжигания на окружающую среду в ходе развития «циркулярной» экономики, оптимизация потребления энергии, выбросов парниковых газов и твердых отходов. Не менее важен для человекоцентричной добычи полезных ископаемых беспрецедентный уровень защиты от техногенных аварий, природных катаклизмов и угроз кибербезопасности, поддержка критически важной инфраструктуры во время кризисов.

Таблица 1. Основные инновации в геотехнологии в процессе развития от Майнинга 1.0 до 5.0 [20]  
 Table 1. Main innovations in geotechnology during its development from Mining 1.0 to 5.0 [20]

Этапы	Революционные прорывы в технологическом развитии	Ядро передовой технологии	Основные достижения научно-технического прогресса	Уровень геотехнологии	Инновации в добыче твердых полезных ископаемых
XVIII-XIX вв.	Индустрия 1.0	Первые машины с высокой удельной мощностью	Первые паровые машины, производство кокса и стали	Майнинг 1.0	Замена человека машиной во вспомогательных процессах
Первая половина XX в.	Индустрия 2.0	Электрифицированные производственные комплексы	Электромашинны и генераторы, высокопрочные стали, конвейеры, угле- и нефтехимия, конвейеры	Майнинг 2.0	Замена человека машиной в основных процессах
Вторая половина XX в.	Индустрия 3.0	Роботизированные отдельные процессы	Аналоговые контроллеры и персональные компьютеры	Майнинг 3.0	Высокопроизводительное оборудование, автоматизация при помощи аналоговых контроллеров
Первая половина XXI в.	Индустрия 4.0	Искусственный интеллект в управлении отдельными процессами	Нейросети, Интернет вещей, цифровые двойники, машинное зрение	Майнинг 4.0	Удаленное управление, цифровые двойники и 3D-модели, безлюдное оборудование
Вторая половина XXI в.	Индустрия 5.0	Интеграция человека и автономного робота в коллаборативные системы	Интернет всего, соединенный искусственный и человеческий интеллект, дополненная реальность, киберфизические системы, коллаборативные роботы	Майнинг 5.0	Безлюдные горнодобывающие предприятия, управление на основе блокчейн, пост-майнинг, машинное обучение

Наряду с этим Майнинг 5.0 подразумевает использование ископаемого топлива, сжигание которого производит эмиссии парниковых газов, для выработки «зеленого» топлива, в частности водорода. Для этого используется газификация угля и риформинг природного газа, частичное окисление нефти и битумов [21]. Это значительно менее энергозатратные методы, чем разделение воды на составляющие ее водород и кислород. Широкое применение водорода в химической промышленности наряду со сжиганием его как энергоносителя определяет долгосрочный рост спроса на него.

Продвинутый Облачный Майнинг – технология, интегрирующая ряд технологий ядра Майнинга 4.0, является наиболее передовой и соответствующей духу Майнинга 5.0, поскольку объединяет горно-инженерные, финансовые, логистические решения посредством облачных ресурсов и сервисов [9]. Управление технологическими и бизнес-процессами горных работ без участия человека становится возможным на уровне целых кластеров, а не отдельных предприятий, опираясь на глубокую цифровизацию: опора только на цифровые данные при проектировании и управлении

горными работами, применение только цифровых технологий в управлении процессами, максимальное развитие цифровых компетенций сотрудников, облачная форма взаимодействия горнодобывающих предприятий с бизнес-партнерами и контрагентами.

В системе Облачного Майнинга ключевую роль играет доступность данных от разных источников Промышленного Интернета вещей (в будущем – Интернета всего), что связано с необходимостью использовать особые KPI – ключевые показатели производительности – для оценки цифровых компетенций горных инженеров, необходимых для Майнинга 4.0. Эти связи подразумевают согласованную оптимизацию финансовых, логистических, производственных бизнес-процессов в деятельности горнодобывающих предприятий.

#### Заключение

Глубокая цифровизация добычи твердых полезных ископаемых обеспечивает рост производительности в горнодобывающей отрасли, достаточный для перехода к Майнингу 4.0 – платформы, в которой доминирует Интернет вещей, искусственный интеллект и нейросети, позволяющие сбалансировать добычу

полезных ископаемых для производства энергии из возобновляемых и невозобновляемых источников. Отсюда доменная структура Майнинга 4.0 включает в себя Облачный Майнинг, Промышленный Интернет Вещей, машинное видение и обучение, киберфизические системы, цифровые двойники, умные роботы, блокчейн.

В дальнейшем развитие платформы Майнинга 5.0, ожидаемое во второй половине XXI в., будет подчинено тем же императивам, что и Индустрия 5.0 – человекоцентричность и сохранение окружающей среды. От развития геотехнологии здесь ожидается полное извлечение минерального сырья, сжигание ископаемых энергоносителей с минимальным воздействием на окружающую среду, достижение уровня безопасности труда на шахтах и разрезах, обогащательных фабриках.

В соответствии с этим технологическая платформа Майнинга 5.0 включает в себя нейросети нового поколения (глубокого обучения), соединение безлюдных добывающих предприятий с интеллектуальными энергетическими сетями для извлечения и сжигания угля в объемах, требуемых для компенсации провалов возобновляемой энергетики.

Переход к геотехнологии второй половины XXI в. – Майнинг 5.0 – связан с человекоцентричным вектором развития горнодобывающей отрасли, в связи с чем его технологическая платформа включает в себя передовые технологии кибербезопасности и Облачного Майнинга, коллаборативные роботы, рециклинг минерального сырья и его полное извлечение с использованием нейросетей для анализа Больших данных, пост-майнинг, использование ископаемых углеводородов для производства зеленого водородного топлива.

#### Список литературы

1. Чехлар М., Жиронкин С. А., Жиронкина О. В. Цифровые технологии индустрии 4.0 в Майнинге 4.0 - перспективы развития геотехнологии в XXI веке // Вестник КузГТУ. 2020. №3 (139). С. 80–90.
2. Плаиткин Ю. А., Плаиткина Л. С. Цифровизация экономики угольной промышленности России – от «индустрии 4.0» до «Общества 5.0» // Горная промышленность. 2018. №4 (140). С. 22–30.
3. Абу-Абед Ф. Н. Киберфизические системы и человек в контексте интеллектуального производства Индустрии 4.0 // Экономика и управление инновациями. 2022. №3 (22). С. 78–87.
4. Воробьева Е. С., Юсубова З. А., Гасанов М. А. Развитие маркетплейсов в условиях цифровой трансформации как результат структурных сдвигов в экономике // Вестник университета. 2021. № 2. С. 95–100.
5. Гасанов М. А. Структурная модернизация и инновационное устойчивое развитие экономики. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2005. 186 с.
6. 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.
7. Чехлар М., Жиронкин С. ., Жиронкина О. В. Горизонты конвергентного развития открытой геотехнологии в 21-м веке: мировой опыт // Вестник КузГТУ. 2019. №3 (133). С. 94–102.
8. Maddikunta P .K. R., Pham Q.-V., Ba P., Deepa N., Dev K. Industry 5.0: A Survey on Enabling Technologies and Potential Applications // Journal of Industrial Information Integration. 2021. 8. 257.
9. Zhironkin S., Dotsenko E. Review of Transition from Mining 4.0 to 5.0 in Fossil Energy Sources Production // Energies. 2023. Vol. 16. Pp. 5794. DOI: 10.3390/en16155794
10. Гасанов М. А. О., Гасанов Э. А. О. Структурная конвергенция в экономике России и ее ограничения // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2014. №1 (25). С. 5–17.
11. Bertayeva K., Panaedova G., Natocheeva N., Kulagovskaya, T., Belyanchikova T. Industry 4.0 in the mining industry: Global trends and innovative development // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 135. Pp. 04026.
12. Romero D., Stahre J., Wuest T. [et al.] Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies // Proceedings of International Conference on Computers & Industrial Engineering, Tianjin, China, 2016. Pp. 1–11.
13. Tyleckova E., Noskiewiczova D. The role of big data in Industry 4.0 in mining industry in Serbia // CzOTO. 2020. Vol. 2. Pp. 166–173.
14. Nahavandi S. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution // Sustainability. 2019. Vol. 11. Pp. 4371.
15. SAP SE. The Intelligent Enterprise for the Mining Industry Making Mining More Agile and Sustainable from the Pit to the Customer. August 2022. URL: <https://www.sap.com/documents/2017/11/3eb0f65b-dd7c-0010-82c7-eda71af511fa.html> (последнее обращение: 10.03.2024).
16. Dabek P., Szrek J., Zimroz R., Wodecki J. An Automatic Procedure for Overheated Idler Detection in Belt Conveyors Using Fusion of Infrared and RGB Images Acquired during UGV Robot Inspection // Energies. 2022. Vol. 15. Pp. 601.
17. Дроговоз П. А., Кошкин М. В. Анализ инновационных технологий в промышленности: блокчейн, интернет вещей // Вестник ГУУ. 2019. №3. С. 38–43.
18. Pincheira M., Antonini M., Vecchio M. Integrating the IoT and Blockchain Technology for the Next Generation of Mining Inspection Systems //

Sensors. 2022. Vol. 22. Pp. 899.

19. Ахматова Д. Р. Экономический потенциал искусственного интеллекта: мировой опыт, российская практика и перспективы стран ЕАЭС // Экономика и управление инновациями. 2023. №3 (26). С. 15–24.

20. Zhironkin S., Gasanov M., Suslova Y.

Orderliness in Mining 4.0 // Energies. 2022. Vol. 15. Pp. 8153. <https://doi.org/10.3390/en15218153>

21. Слетов П. А. Методы производства водорода. Роль процесса парового риформинга в мировом получении водорода // Вестник магистратуры. 2022. №4–1 (127). С. 6–10.

© 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

Заявленный вклад авторов:

Жиронкин Сергей Александрович – обзор существующей литературы, постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, сбор и анализ данных, написание текста, оформление статьи по требованиям, работа с редакцией.

Коновалова Мария Евгеньевна – обзор существующей литературы, постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, сбор и анализ данных, написание текста, оформление статьи по требованиям, работа с редакцией.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

### TRANSITION PROSPECTS TO MINING 5.0 – GEOTECHNOLOGY OF THE SECOND HALF OF THE XXI CENTURY

Sergey A. Zhironkin<sup>1</sup>, Maria E. Konovalova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

<sup>2</sup>Samara State Economic University

\*for correspondence: zhironkinsa@kuzstu.ru



#### Article info

Received:

01 May 2024

Accepted for publication:

15 May 2024

Accepted:

29 May 2024

Published:

13 June 2024

**Keywords:** geotechnology, Mining 4.0, Mining 5.0, post-

#### Abstract.

The article provides an analysis of the current stages of geotechnology development – Mining 4.0 and 5.0; their characteristic “core” technologies are presented, connecting them with the latest stages of the scientific and technological revolution – Industry 4.0 (first half of the 21st century) and 5.0 (second half of the 21st century). The most promising digital technologies of Industry 4.0 for the technological modernization of the mining industries are identified – the Internet of things, digital twins and 3D-visualization, neural networks and artificial intelligence, computer vision, blockchain, smart sensors, etc. Their applicability for increasing labor productivity in mining is substantiated in the context of expansion of energy production from alternative sources, tightening requirements for labor protection and environmental protection. The conditions for the transition from Mining 4.0 to 5.0 are formulated – the implementation of the concept of human-centric production, a radical increase in requirements for labor safety and environmental protection, ensuring the sustainable development of solid mineral extraction in parallel with the expansion of the share of renewable energy sources. The technological platform of Mining 5.0 has been defined,

mining, unmanned production, Industry 4.0, Industry 5.0

based on the breakthrough digital achievements of Industry 4.0 – advanced Cloud and Computer-integrated mining, post-mining, Internet of Everything and collaborative robots, cyber-physical systems, augmented reality for a massive transition from individual unmanned equipment to unmanned mining enterprises.

**For citation:** Zhironkin S.A., Konovalova M.E. Transition prospects to mining 5.0 – geotechnology of the second half of the XXI Century. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 2(162):45-56. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-45-56, EDN: FLFVQB

#### REFERENCES

1. Chekhlar M., Zhironkin S.A., Zhironkina O.V. Cifrovye tekhnologii industrii 4.0 v Majninge 4.0 – perspektivy razvitiya geotekhnologii v XXI veke. *Vestnik KuzGTU*. 2020; 3 (139):80–90.
2. Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S. Cifrovizatsiya ekonomiki ugol'noj promyshlennosti Rossii – ot Industrii 4.0 do Obshchestva 5.0. *Gornaya promyshlennost'*. 2018; 4(140):22–30.
3. Abu-Abed F.N. Kiberfizicheskie sistemy i chelovek v kontekste intellektual'nogo proizvodstva Industrii 4.0. *Ekonomika i upravlenie innovatsiyami*. 2022. 3 (22). 78–87.
4. Vorob'eva E.S., Yusubova Z.A., Gasanov M.A. Razvitie marketplejsov v usloviyah cifrovoj transformatsii kak rezul'tat strukturnykh sdvigo v ekonomike. *Vestnik universiteta*. 2021; 2. 95–100.
5. Gasanov M.A. Strukturnaya modernizatsiya i innovatsionnoe ustojchivoe razvitie ekonomiki. *Habarovsk: Izd-vo TOGU*; 2005. 186 p.
6. Abu-Abed F.N. Primenenie tekhnologij intellektual'nogo upravleniya i biznes-proektirovaniya Industrii 5.0 v Majninge 5.0. *Ekonomika i upravlenie innovatsiyami*. 2022. 3 (22): 50–59.
7. Chekhlar M., Zhironkin S.A., Zhironkina O.V. Gorizonty konvergentnogo razvitiya otkrytoj geotekhnologii v 21-m veke: mirovoj opyt. *Vestnik KuzGTU*. 2019; 3(133):94–102.
8. Maddikunta P.K.R., Pham Q.-V., Ba P., Deepa N., Dev K. Industry 5.0: A Survey on Enabling Technologies and Potential Applications. *Journal of Industrial Information Integration*. 2021; 8:257.
9. Zhironkin S., Dotsenko E. Review of Transition from Mining 4.0 to 5.0 in Fossil Energy Sources Production. *Energies*. 2023; 16:5794. <https://doi.org/10.3390/en16155794>
10. Gasanov M.A.O., Gasanov E.A.O. Strukturnaya konvergentsiya v ekonomike Rossii i ee ogranicheniya. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*. 2014; 1(25):5–17.
11. Bertayeva K., Panaedova G., Natocheeva N., Kulagovskaya T., Belyanchikova T. Industry 4.0 in the mining industry: Global trends and innovative development. *E3S Web of Conferences*. 2019; 135:04026.
12. Romero D., Stahre J., Wuest T., et al. Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies / Proceedings of International Conference on Computers & Industrial Engineering, Tianjin, China. 2016. Pp. 1–11.
13. Tyleckova E., Noskievicova D. The role of big data in Industry 4.0 in mining industry in Serbia. *CzOTO*. 2020; 2:166–173.
14. Nahavandi S. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution. *Sustainability*. 2019; 11:4371.
15. SAP SE. The Intelligent Enterprise for the Mining Industry Making Mining More Agile and Sustainable from the Pit to the Customer. August 2022. URL: <https://www.sap.com/documents/2017/11/3eb0f65b-dd7c-0010-82c7-eda71af511fa.html> (po-last access: 10.03.2024).
16. Dabek P., Szrek J., Zimroz R., Wodecki J. An Automatic Procedure for Overheated Idler Detection in Belt Conveyors Using Fusion of Infrared and RGB Images Acquired during UGV Robot Inspection. *Energies*. 2022; 15:601.
17. Drogovoz P.A., Koshkin M.V. Analiz innovatsionnykh tekhnologij v promyshlennosti: blokchejn, internet veshchej. *Vestnik GUU*. 2019; 3:38–43.
18. Pincheira M., Antonini M., Vecchio M. Integrating the IoT and Blockchain Technology for the Next Generation of Mining Inspection Systems. *Sensors*. 2022; 22:899.
19. Ahmatova D.R. Ekonomicheskij potencial iskusstvennogo intellekta: mi-rovoj opyt, rossijskaya praktika i perspektivy stran EAES. *Ekonomika i upravlenie innovatsiyami*. 2023; 3(26):15–24.
20. Zhironkin S., Gasanov M., Suslova Y. Orderliness in Mining 4.0. *Energies*. 2022; 15:8153. <https://doi.org/10.3390/en15218153>
21. Sletov P.A. Metody proizvodstva vodoroda. Rol' processa parovogo reforminga v mirovom poluchenii vodoroda. *Vestnik magistratury*. 2022; 4-1(127):6–10.

© 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**, Dr. Sc. in Economics, Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennya st., 28), e-mail: zhiron-kinsa@kuzstu.ru

**Maria E. Konovalova**, Dr. Sc. in Economics, Professor, Samara State Economic University, (443090, Russia, Samara, Krasnoy Armii st., 141), e-mail: ecun@sseu.ru

*Contribution of the authors:*

Sergey A. Zhironkin – review of existing literature, formulation of a research task, scientific management, data collection and analysis, writing a text, formatting an article according to requirements, working with the editorial board.

Maria E. Konovalova – review of existing literature, formulation of a research task, scientific management, data collection and analysis, writing a text, formatting an article according to requirements, working with the editorial board.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

