

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.235

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-144-154

К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ МАЙНИНГА 6.0 – ПРИРОДОЦЕНТРИЧНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ 21 В.

Жиронкин Сергей Александрович¹, Жиронкина Ольга Валерьевна²,
Коновалова Мария Евгеньевна³, Ху Тинтин¹

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

² Кемеровский государственный университет

³ Самарский государственный экономический университет

* для корреспонденции: zhironkinsa@kuzstu.ru



Информация о статье

Поступила:

20 декабря 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 апреля 2025 г.

Принята к публикации:

30 апреля 2025 г.

Опубликована:

11 июня 2025 г.

Ключевые слова:

Индустрия 6.0, Майнинг 6.0, добыча угля, геотехнология, пост-майнинг, природоцентричность.

Аннотация.

В статье рассмотрена концепция Майнинга 6.0 как будущей технологической платформы развития отраслей горнодобывающего комплекса в условиях усиления призывов и действий разных стран – производителей и потребителей угля – к сокращению до нулевого уровня выбросов парниковых газов и борьбе с изменением климата, наряду с усилиями по обеспечению доступа развивающихся стран к дешевой энергии (цели устойчивого развития ООН). Выделены технологические отличия Майнинга 6.0 от платформ Майнинг 5.0 (с характерной человекоцентричностью развития) и Майнинг 4.0 (ориентированного на максимальный рост производительности), связанные с природоцентричным вектором цифровой трансформации. Соединение цифровых технологий Майнинга 6.0 с традиционной геотехнологией (открытой, подземной) рассматривается в статье как возможность достижения во многом взаимоисключаемых целей устойчивого развития ООН – борьбы с изменением климата и справедливым обеспечением доступной энергией развитых и развивающихся стран. Авторы обосновывают неизбежность перехода к человекоцентричному, а затем и к природоцентричному технологическому развитию добычи угля в будущем результатами анализа динамики добычи угля в России и в мире, а также производительности труда и воздействия на окружающую среду. Авторы связывают перспективы сохранения роли угля как доступного энергоносителя в будущем с ростом производительности добывающих предприятий и экологическим вектором развития технологий его добычи на новой цифровой основе.

Для цитирования: Жиронкин С.А., Жиронкина О.В., Коновалова М.Е., Ху Тинтин. К вопросу о перспективах майнинга 6.0 – природоцентричной геотехнологии второй половины 21 в. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 2 (168). С. 144-154. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-144-154, EDN: GRUVSW

Индустрия 6.0 – глобальная технологическая платформа интеграции цифровых технологий материального и нематериального производства – ожидается во второй половине 21 в., когда машины должны перейти от самостоятельного обучения (Индустрия 4.0) и имитирования человеческого поведения (Индустрия 5.0 – ближайшее будущее человечества) к образованию единого ресурса с трудом людей

[1]. Потребность в изменении тренда технологического развития базовых отраслей экономики, в особенности добычи полезных ископаемых, от сверхвысокопроизводительного (Майнинг 4.0 [2]) и человекоцентричного (Майнинг 5.0 [3]) на природоцентричный (Майнинг 6.0) продиктована потребностью улучшения качества жизни больших сообществ не только за счет обеспечения растущего доступа

к энергии развивающихся стран Глобального Юга, но и за счет снижения воздействия добычи твердых полезных ископаемых на окружающую среду, прежде всего на водные ресурсы и климат.

В рамках концепции «бесшовного» Четвертого энергетического перехода ожидается переход к возобновляемой энергетике в передовых с точки зрения технологий производства энергии стран к 2050 г., что косвенно связано с достижением ряда важных

целей устойчивого развития ООН: 7 «Недорогая и чистая энергия», 12 «Ответственное потребление и производство», 13 «Борьба с изменением климата» [4]. То есть если от ближайшей пятой промышленной революции (Индустрии 5.0) ожидается человекоцентричность производственных технологий, в том числе добычи твердых полезных ископаемых (Майнинг 5.0), то от Индустрии 6.0 ожидается интеграция

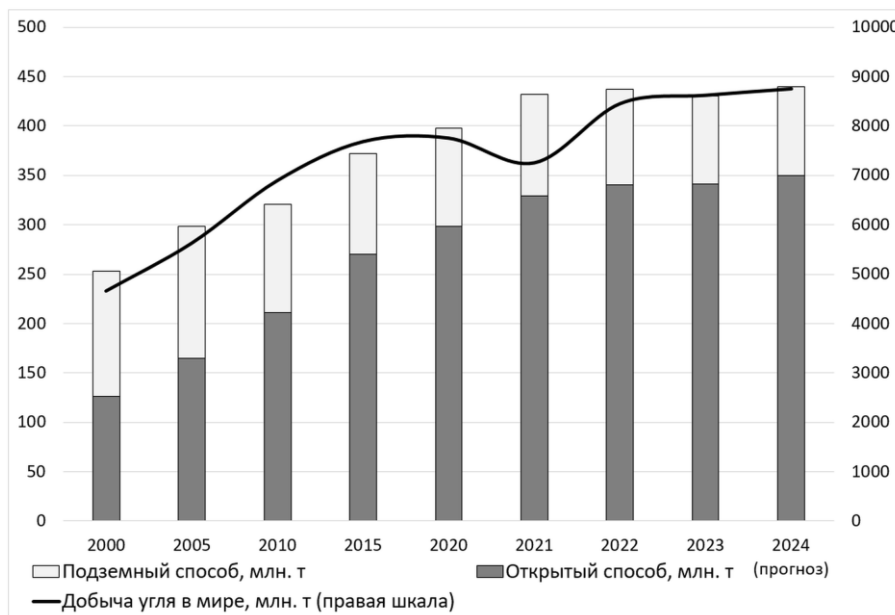


Рис. 1. Динамика добычи угля в России и в мире

Построено авторами по данным [9, 10]

Fig. 1. Dynamics of coal mining in Russia and in the world

Drawn by the authors based on data from [9, 10]

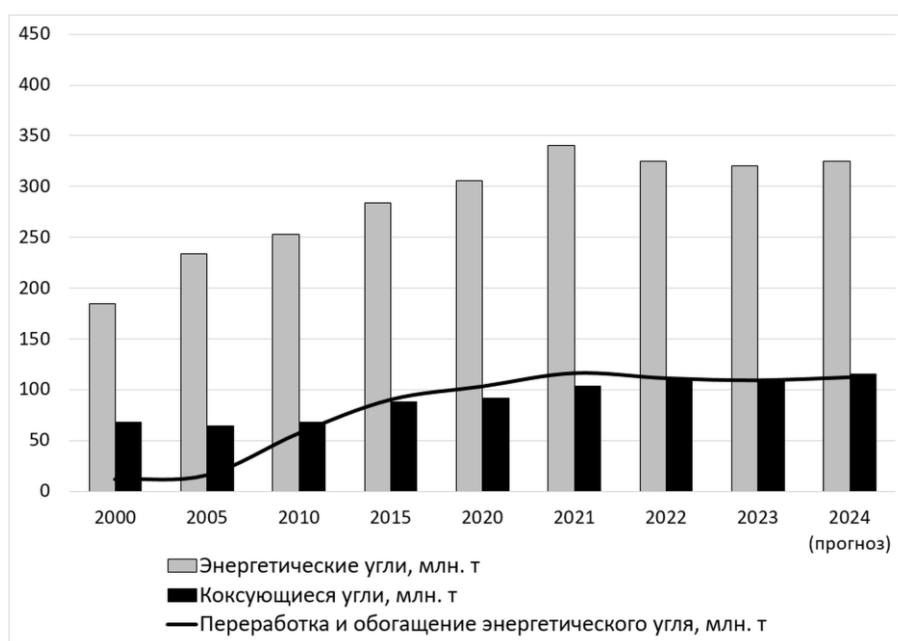


Рис. 2. Структурная динамика добычи угля в России

Построено авторами по данным [9, 10]

Fig. 2. Structural dynamics of coal mining in Russia

Drawn by the authors based on data from [9, 10]

природосберегающих и восстанавливающих технологий («продвинутый» постмайнинг [5]), ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих комплексное извлечение ресурсов, и прорывных цифровых технологий (блокчейн, Искусственный Интеллект Вещей, цифровые двойники и тройники, Интернет Всего и пр.) То есть Майнинг 6.0 можно представить как симбиоз технологий горного производства и передовых цифровых технологий ради формирования топливно-энергетического комплекса, конкурентоспособного на фоне постепенно удешевляемой возобновляемой энергии в условиях смены поколений цифровых технологий [6].

Например, искусственный интеллект – основа технологий Индустрии 4.0, приобретая человекоцентричный характер в Индустрии 5.0,

становится важным инструментом для адаптации к изменению климата и предотвращению катаклизмов благодаря моделированию развития геотехнологии с учетом будущих климатических сценариев (инерционного – с постепенным сокращением добычи угля, Net Zero – с полной декарбонизацией и сбалансированного – с сохранением добычи угля и отказом от его сжигания для производства энергии [7]). Безальтернативность конвергентного развития угольной отрасли и цифровых технологий до конца 21 в. обусловлена тем, что отказ от сжигания ископаемых энергоносителей ради нулевых эмиссий парниковых газов повлек бы за собой гибель значительной части человечества и откат качества жизни на 20 тысяч лет [8]. Это подтверждается ростом угледобычи в последние декады – как в России, так и в мире (Рис. 1).

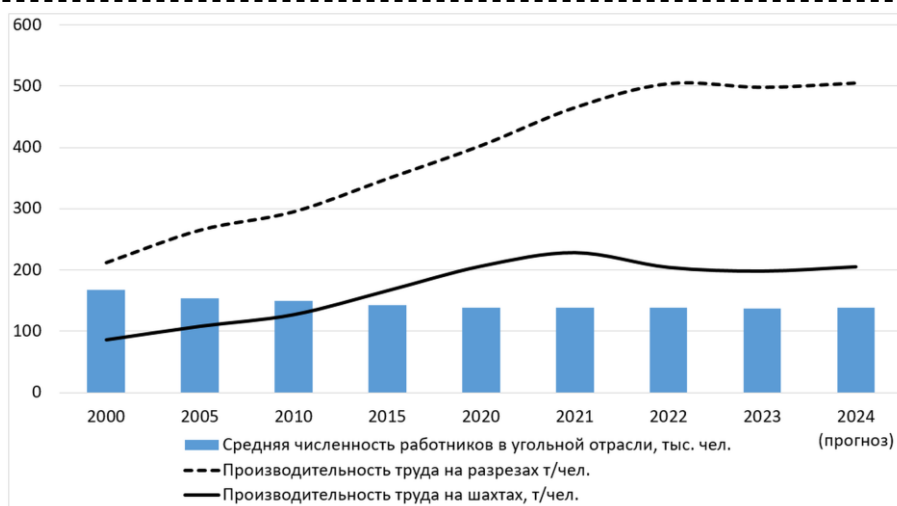


Рис. 3. Динамика производительности труда и занятости в угольной отрасли России

Построено авторами по данным [9, 10]

Fig. 3. Dynamics of labor productivity and employment in the coal industry of Russia

Drawn by the authors based on data from [9, 10]

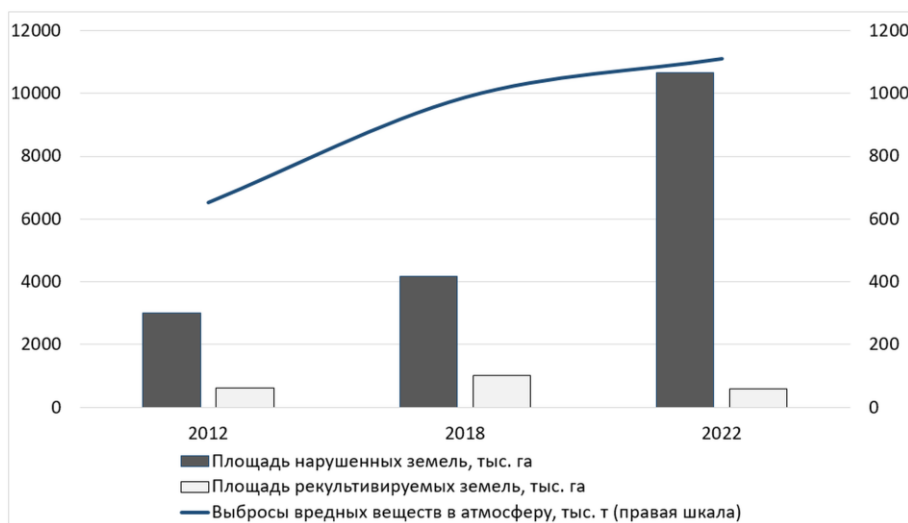


Рис. 4. Динамика воздействия угледобычи в России на окружающую среду

Fig. 4. Dynamics of the environmental impact of coal mining in Russia

Drawn by the authors based on data from [11].

Как следует из данных, представленных на Рис. 1, несмотря на то, что рост добычи угля в мире замедлился после быстрого восстановления от пандемии COVID-19 в 2020-2021 гг., российская угольная отрасль демонстрирует большую устойчивость к рыночным шокам. Во многом это обусловлено выходом открытого способа на роль доминирующего, с более высокой удельной производительностью оборудования. При этом наибольшую стабильность демонстрирует добыча коксующихся углей в России (Рис. 2).

На Рис. 2 наглядно видна тенденция стабилизации объемов добычи энергетических и постепенного наращивания добычи коксующихся углей, что позволяет говорить о перспективах будущего спроса в условиях усилий по декарбонизации, предпринимаемых правительствами стран Евросоюза, сокращающих мировой спрос на уголь как энергоноситель.

Постепенное внедрение технологий Индустрии 4.0 в угольной отрасли России и рост удельной мощности оборудования вызывает рост производительности труда, прежде всего на разрезах, при медленном сокращении числа занятых в условиях роста добычи (Рис. 3).

Как следует из данных, отраженных на Рис. 3, с 2010 г. налицо ускорение роста производительности труда в отрасли в целом, в котором лидирует сектор открытой угледобычи, «подстегиваемый» цифровизацией и автоматизацией отдельных процессов.

Наряду с этим негативное воздействие добычи угля на окружающую среду также возрастает по мере роста угледобычи, о чем свидетельствуют данные Рис. 4.

Данные Рис. 4 свидетельствуют как о постоянном росте выбросов вредных веществ в атмосферу, подземные и поверхностные воды, так и о резком росте нарушенных земель (в основном в кластерах открытой угледобычи).

Таким образом, развитие добычи угля в России во многом отражает глобальный тренд, связанный, с одной стороны, с наращиванием его объемов и ускоренным ростом производительности под влиянием цифровых технологий Индустрии 4.0 и 5.0, с другой – с увеличением негативного воздействия на окружающую среду и усиления позиций сторонников декарбонизации производства энергоносителей и выработки энергии.

Наиболее перспективным путем объединения данных трендов является опережающее создание технологической платформы модернизации открытой и подземной геотехнологии до уровня Майнинг 6.0, с характерным новым уровнем производительности роботизированных и киберфизических систем Майнинга 5.0, и природоцентричных технологий, потребность в которых заложена в прогнозы развития мировой энергетики (Рис. 5), наиболее радикальный из которых говорит о том, что к 2050 г. доля ветровой и солнечной энергии будет достигать 75% в передовых странах, при этом до 20% от нее будет использоваться для производства

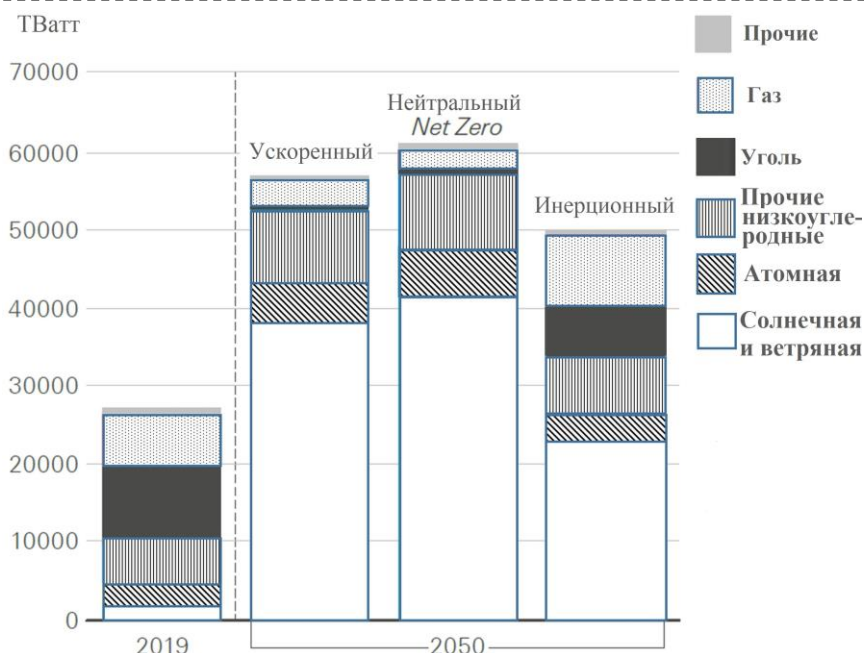


Рис. 5. Сценарии развития мировой энергетики (по вкладу различных энергоносителей в глобальный энергетический баланс, TВт) к 2050 г.

Построено авторами по данным Бритиш Петролеум [12].

Fig. 5. Scenarios of global energy development (by the contribution of various energy sources to the global energy balance, TW) by 2050.

Drawn by the authors based on data from British Petroleum [12]

зеленого водорода.

Из Рис. 5 следует, что к середине 21 в. сокращение доли угля в глобальном энергетическом балансе видится аналитикам Бритиш Петролеум неизбежным, однако его количественные границы в разных сценариях разнятся. В этом контексте Майнинг 6.0 выступает закономерным этапом эволюции технологического развития горнодобывающей промышленности в ходе экспансии квантовых вычислений и нейронной интеграции, передовых биотехнологий, децентрализованных автономных производственных систем.

Перспективы ископаемых энергоносителей при переходе к Индустрии 6.0 определяются перспективой интеграции технологий добычи с эмоциональным искусственным интеллектом,

предиктивной аналитикой Больших Данных, цифровыми тройниками и пр., что делает прогресс, ориентированный на экологические запросы общества, действительно устойчивым. Поэтому на уровне национальных энергетических стратегий стран – ведущих производителей и потребителей угля (Россия, Китай, США, Индия, Австралия) переход к Майнингу 5.0 и далее к 6.0 находит достаточно широкое отражение в действиях правительства и законодателей. Так, стимулирование инвестиций в возобновляемые источники энергии в Китае должно привести к снижению цены на электроэнергию на 36% в период 2021-2100 гг., но без государственных субсидий это приведет к снижению инвестиций на 42% к 2050 г. и угрозе энергетического дефицита [13]. Инвестиционные

риски для компаний США, занятых в добыче угля, эквивалентны рискам производителей невозобновляемой энергии [14], в основном связанных с ростом затрат на солнечные и ветряные системы по мере смены их поколений и массового выбытия [15]. Несмотря на это, страны Евросоюза используют политику «подталкивания» к отказу от ископаемого топлива при помощи ценовых субсидий и налоговых льгот для инвесторов в возобновляемые источники энергии [16].

Применительно к добыче угля Майнинг 6.0 следует рассматривать как наследие человекоцентричной Индустрии 5.0, которое будет развиваться не вопреки, а благодаря борьбе с эмиссиями парниковых газов, а также следуя цели устойчивого развития ООН, связанной со справедливым доступом к энергии и равноценного участия стран-экспортеров и импортеров угля в преяствиях изменению климата. Переход к Майнингу 6.0 может быть ассоциирован с преодолением энергетических

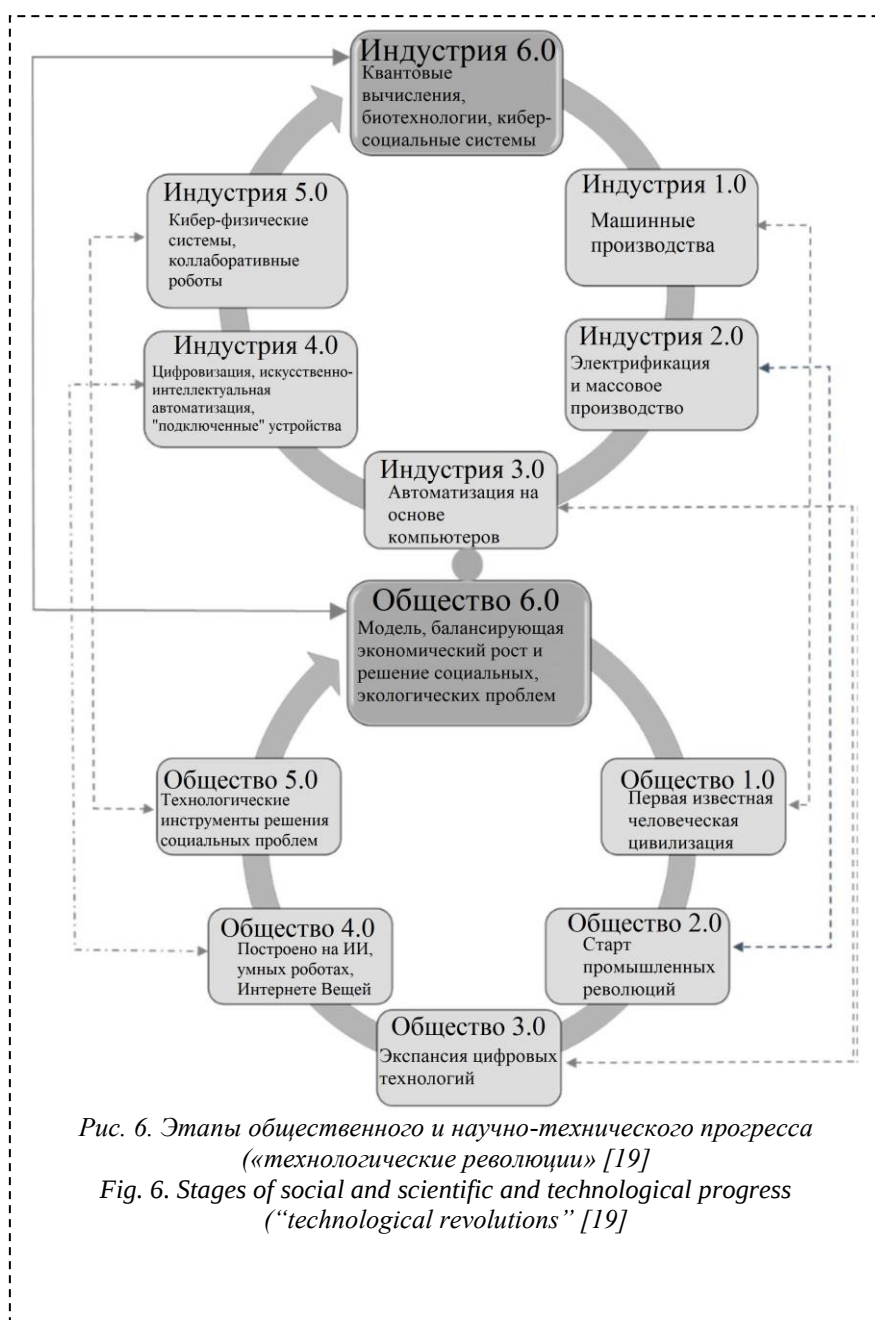


Рис. 6. Этапы общественного и научно-технического прогресса («технологические революции» [19]

Fig. 6. Stages of social and scientific and technological progress ("technological revolutions" [19]

ограничений развитию как цифровых, так и финансовых технологий (например, сегодня замедляется массовый переход к сетям 6G из-за их высокой энергоемкости и дискутируются перспективы добычи угля в свете индустриализации стран Африки – основных ожидаемых его потребителей во второй половине 21 в. [17]).

Опыт свидетельствует, что экономический рост в развивающихся странах ускоряет потребление ископаемого топлива, тогда как передовые цифровые технологии и пост-майнинг в совокупности дают возможность преодолеть противоречие между потребностью в снижении воздействия добычи и сжигания угля на окружающую среду и удовлетворении растущих энергетических потребностей современного общества [18]. Важная роль здесь отводится генеративным моделям искусственного интеллекта, которые могут придать проектированию и управлению процессами горных работ свойство экологической безопасности, что отличает Майнинг 6.0 от 4.0. Технологическая зрелость добычи твердых полезных ископаемых, развивающейся на платформе Майнинг 4.0 и готовящейся к переходу к человекоцентричной платформе Майнинга 5.0, создала основу для принятия горнодобывающими компаниями принципа коллаборативно-интеллектуального управления в условиях изменения климата и усиления давления сторонников декарбонизации в органах государственного управления, что может быть реализовано на платформе Майнинг 6.0. Это вполне соответствует движению общества в целом и промышленности в частности по «ступеням» научно-технического развития (Рис. 6).

Определенным прорывом в области природоцентричного Майнинга 6.0, наследующего человекоцентричный Майнинг 5.0, можно считать синергию работы умных сенсоров, облачных вычислений и Искусственного Интеллекта Вещей, от которой ожидается глубокая оптимизация добычи ископаемых энергоносителей и выработки энергии из возобновляемых источников. Этой цели должна послужить и экспансия периферийных вычислений (обработка данных в близости от источника), соединенная с цифровыми тройниками процессов в минерально-сырьевом комплексе, продолжающих уже укоренившийся тренд виртуализации отдельных технологических процессов при их проектировании. Это особо востребовано в связи с необходимостью учета реалий современного мирового рынка энергоносителей – с его конкуренцией между ископаемыми и возобновляемыми источниками энергии, а также требованиями развивающихся

стран Глобального Юга в равенстве доступа к энергии.

Следовательно, комплексное определение Майнинга 6.0, наряду с глобальной платформой развития добычи твердых полезных ископаемых на более высоком уровне цифровизации и с улучшением окружающей среды (принцип природоцентричности, включает в себя новую промышленную экосистему, основанную на вовлечении человекоцентричных технологий Индустрии 5.0 (эмоционального интеллекта машин, Интернета Всего, цифровых тройников и пр.) в преодолении экологических ограничений добычи угля (климатических, водно-ресурсных, земельных). Как следующий этап эволюции горнодобывающих технологий, Майнинг 6.0 означает создание более безотказной и устойчивой производственной среды, основанной на «подключенной» и взаимосвязанной добыче угля и производства энергии, в котором будут отсутствовать нарушения в цепочках поставок. Такое производство в горнодобывающей промышленности и можно назвать «анти-хрупким» [20], наследующим понятие «бережливого производства» – современного этапа развития комплексного извлечения полезных ископаемых.

Таким образом, несмотря на то, что сегодня существует небольшое число определений Майнинга 6.0 – как отраслевой технологической платформы Индустрии 6.0 (с эмоциональным искусственным интеллектом, Интернетом Всего, глубокой коллаборацией технических и киберсистем), как тренда развития добычи твердых полезных ископаемых в условиях конвергенции информационных когнитивных и производственных технологий, а также как стратегии развития угледобычи как основного загрязнителя окружающей среды в условиях осознания государствами и компаниями климатических проблем, можно выделить общую основу данных концепций. Она представляет собой императив снижения нагрузки на окружающую среду при массовом внедрении цифровой платформы угледобычи, формирующейся технологиями Индустрии 6.0, от которых ожидается изначальная ориентация в своем развитии на минимизацию воздействия на окружающую среду по всей цепочке – от добычи угля до производства энергии и металла.

Вместе с тем не следует отождествлять переход к Майнингу 6.0 с отказом от использования ископаемых энергоносителей, поскольку только развитие киберсоциальных систем в добывающем секторе может обеспечить справедливое распределение энергии между развитыми и развивающимися странами, для которых уголь останется основным доступным энергоносителем в ближайшие декады.

В общем виде изменение технологической основы горного производства по мере прохождения через промышленные революции отражено на Рис. 7.

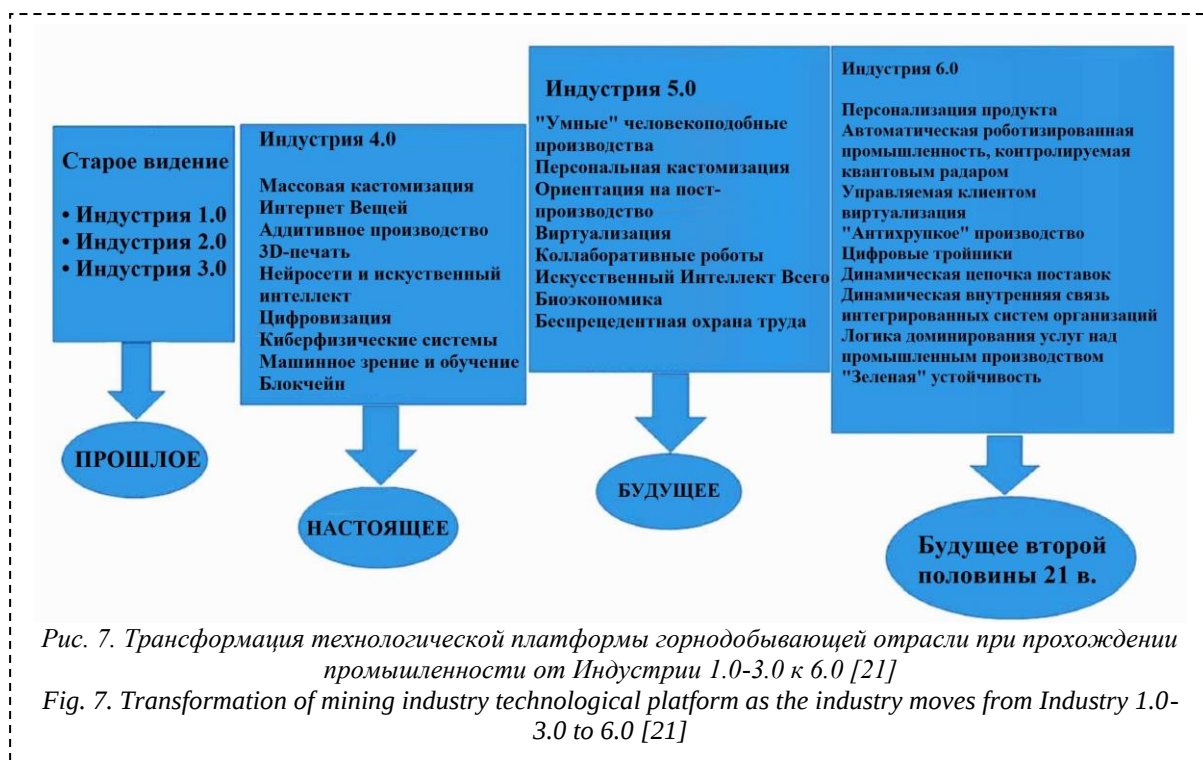
Представленный на Рис. 7 тренд преобразования ключевых технологий Индустрии 1.0 в 6.0 говорит о некоем пределе развития цифровых технологий 21 в., когда возникшие в ходе Четвертой промышленной революции Интернет Вещей, искусственный интеллект, машинное видение, блокчейн, цифровые двойники, дополненная реальность, аналитика Больших Данных и пр. постепенно наращивают производительность, но не меняются в корне. Соответственно, на каждом последующем скачке (Индустрия 5.0, 6.0) такие технологии приобретают человекоцентричный и природоцентричный характер, при этом ожидается, что к 2050 году данные технологии достигнут точки синергии, в том числе благодаря развитию квантовых вычислений и квантового управления.

Что касается «антихрупкого» (сверхбезаварийного) горного производства как особого свойства Майнинга 6.0, то ключом к нему видятся устойчивые потоки данных между несколькими доменами администрирования в гиперсвязанных предприятиях и дилерских центрах горного оборудования, в результате которых должны сформироваться многогранные и динамичные цепочки поставок. Следует учесть мнение тех авторов, которые напрямую говорят о промышленной цифровой экосистеме Индустрии 6.0, в которой эмоциональный искусственный интеллект может быть перенесен на беспилотное

оборудование путем обмена человеческим поведением с устройствами с высокой частотой дискретизации [22]. В такой цифровой экосистеме отдельные единицы горного оборудования становятся интеллектуальными, функционирующими совместно с людьми, то есть в полноценной конвергенции человеческого общества, искусственного интеллекта и интерактивно взаимодействующих машин.

Такая конвергенция рассматривается как будущее пересечение ключевых технологий Майнинга 5.0 – традиционной открытой и подземной геотехнологии, коллаборативного искусственного интеллекта, промышленного Интернета Вещей и аналитики Больших Данных. В результате эволюция горного оборудования будет идти в направлении систем эмоционального интеллекта машин, что позволит получить принципиально новые решения проблем анти-хрупкого производства и защиты окружающей среды в угольной отрасли. Конвергентные процессы в рамках Индустрии 6.0 также означают слияние технологий различных отраслевых платформ (Майнинга, Переработки, транспорта и пр. 6.0), что может радикально изменить технологический ландшафт всей промышленности (Рис. 8).

Важным отличием Майнинга 6.0 от 5.0 является переход от массовой персонализации принятия инженерных и управленческих решений к автономному созданию полностью интегрированных интеллектуальных систем с использованием технологии блокчейн, облачных технологий, что позволяет некоторым авторам говорить о цифровом сырье – «цифровая



энергия», «цифровая вода», «цифровой уголь, нефть и газ» [24]. Отдельно следует отметить изменение роли работников горнодобывающих предприятий при ожидаемом переходе к Майнингу 6.0, компетенции которых будут формироваться в новых формах сотрудничества между горными университетами и добывающими компаниями, которые ко второй половине 21 в. могут приобрести цифровой характер. В свою очередь, требования к работникам будут смещаться не в сторону навыков работы со сложными цифровыми и киберфизическими системами, а в сторону их самих – «подключенного» оборудования, цифровых двойников и тройников, аксиоматического проектирования. Особо ценными обещают быть навыки избегания сбоев киберфизических систем горнодобывающего производства.



Как мы отмечали ранее, для Майнинга 6.0 характерно высокое внимание к экологическим проблемам современного общества в контексте стремления передовых стран минимизировать свой углеродный след, сократить выбросы парниковых газов и остановить глобальное потепление – не только за счет перераспределения добычи энергоносителей между углем и природным газом, но и за счет технологической модернизации горнодобывающей промышленности. Поэтому перспективы достижения целей устойчивого развития, связанных со справедливым доступом к энергии и развитием инфраструктуры, наряду с

климатической стабильностью неотделимы от тренда к росту генерации энергии и обеспечения справедливого доступа к ней. Обострение экологических проблем к середине 21 в. заставляет ассоциировать технологическое развитие горнодобывающего сектора с решением общественно-значимых, в частности, климатических, проблем в большей степени, нежели с индивидуальными выгодами потребителей.

Такая «природоориентированность» будущих прорывов в развитии цифровых технологий Майнинга 6.0 является тем отличительным признаком, что дифференцирует ее от платформы добычи твердых полезных ископаемых пятого поколения (Майнинг 5.0).

Если с Майнингом 5.0 связаны ожидания устойчивого и справедливого удовлетворения энергетических потребностей населения разных стран мира, то консенсус-мнение авторов относительно Майнинга 6.0 связывает эту концепцию с максимальным вовлечением цифровых технологий в сокращение будущего экологического ущерба от добычи и сжигания угля и устранения уже нанесенного, главным образом в виде эмиссий парниковых газов.

Ограничения реализации концепции Майнинга 6.0 связаны в основном с высокими инвестиционными расходами на переход к безлюдным искусственно-интеллектуальным и киберфизическим системам горного производства. Преодоление данных ограничений связано с дальнейшими исследованиями технологической трансформации традиционной геотехнологии для вывода добычи угля из круга критических угроз устойчивому развитию, а также долгосрочного решения проблемы глобальной доступности энергии по мере роста спроса на нее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ху Тинтин. Обзор национальных стратегий перехода к Индустрии 5.0 // Экономика и управление инновациями. 2022. №3 (22). С. 28–38. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-28-38.
2. 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. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-60-77.
3. Абу-Абед Ф. Н. Применение технологий интеллектуального управления и бизнес-проектирования Индустрии 5.0 в Майнинге 5.0 // Экономика и управление инновациями. 2022. №3 (22). С. 50–59. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-50-59.
4. ООН. Цели в области устойчивого развития. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (последнее обращение: 17.12.2024)

5. Шубин А. А. Задачи постмайнинга в период активизации техногенных процессов // ГИАБ. 2006. №3. С. 115–117.
6. Zhironkin S., Abu-Abed F. Fossil Fuel Prospects in the Energy of the Future (Energy 5.0): A Review // *Energies*. 2024. Vol. 17(22). Pp. 5606. DOI: 10.3390/en17225606.
7. Мингалева Ж. А., Сигова М. В. Финансовые аспекты реализации четвертого энергоперехода // *Финансовый журнал*. 2022. Т. 14. № 5. С. 43–58.
8. LeBlanc C. The Perils of Climate Risk: The People and the Science. Cambridge : Cambridge Scholars Publishing, 2019. 268 p.
9. Плакиткина Л. С., Плакиткин Ю. А., Дьяченко К. И. Современные тренды и прогноз развития угольной промышленности мира и России в условиях трансформации мировой экономики // *Уголь*. 2024. №3. С. 44–51.
10. Мешков Г. Б., Петренко И. Е., Губанов Д. А. Итоги работы угольной промышленности России за 2023 год // *Уголь*. 2024. №3. С. 18–29.
11. Экологические проблемы угледобывающих регионов России. М. : Росприроднадзор, 2023. URL: https://rpn.gov.ru/upload/ecology_problems.pdf (последнее обращение: 17.12.2024) (последнее обращение: 17.12.2024)
12. BP Energy Outlook: 2024 edition. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2024.pdf> (последнее обращение: 17.12.2024)
13. Onifade T. T. Fossil Fuel Subsidies in Canada: Governance Implications in the Net-Zero Transition. Toronto, Canada : Canada Climate Law Initiative, 2022. 61 p.
14. McDonnell C., Gupta J. Beyond divest vs. engage: A review of the role of institutional investors in an inclusive fossil fuel phase-out // *Climate Policy*. 2023. Vol. 24. Pp. 314–331.
15. Barbesgaard M., Whitmore A. Smoke and Minerals: How the Mining Industry Plans to Profit from the Energy Transition. London: Mining Network, UK, 2022. 20 p.
16. Alam M. M., Destek M. A., Haque A., Khudoykulov K. Can undergoing renewable energy transition assist the BRICS countries in achieving environmental sustainability? // *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. Vol. 31. Pp. 9700–9712.
17. Taneja A., Rani S., Raza S., Sefat S.M. Energy efficient IRS assisted 6G network for Industry 5.0 // *Science Report*. 2023. Vol. 13. Pp. 12814.
18. Otim J., Watundu S., Mutenyo J., Bagire V. Fossil Fuel Energy Consumption, Economic Growth, Urbanization, and Car-bon Dioxide Emissions in Kenya // *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2023. Vol. 13. Pp. 457–468.
19. Almusaed A., Yitmen I., Almssad A. Reviewing and Integrating AEC Practices into Industry 6.0: Strategies for Smart and Sustainable Future-Built Environments // *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Pp. 13464.
20. Поляков А. Н. Антихрупкость как элемент методологии менеджмента риска (рус.) // *Управление финансовыми рисками*. 2020. № 3 (63). С. 232–240.
21. Chourasia S., Tyagi A., Pandey S.M., Walia R.S., Murtaza Q. Sustainability of Industry 6.0 in Global Perspective: Benefits and Challenges // *MAPAN*. 2022. Vol. 37(2). Pp. 443–452.
22. Heilala J., Singh K. Evaluation Planning for Artificial Intelligence-based Industry 6.0 Metaverse Integration // *Intelligent Human Systems Integration (IHSI)*. 2023. Vol. 69. Pp. 692–703.
23. At Thaariq Z. Z., Utami W. B., Haryono M. B., Vaz B. L. Educational Technology in Industry 6.0 // *Wacana Akademika: Majalah Ilmiah Kependidikan*. 2024. Vol. 8(1). Pp. 134–141.
24. Chavan G. R., Adholiya A. Review of Study of Biochemical Water Parameters for Prediction and Analysis of Quality of Water Using Machine Learning Techniques in Industry 6.0. Hershey: IGI Global, 2024. 20 p.

© 2025 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

Жиронкина Ольга Валерьевна, кандидат пед. наук, доцент, Кемеровский государственный университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: o-zhironkina@mail.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

Ху Тинтин, аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, e-mail: hutingting@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Жиронкин Сергей Александрович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, работа с редакцией.

Жиронкина Ольга Валерьевна – сбор и анализ данных, написание текста, оформление статьи по требованиям.

Коновалова Мария Евгеньевна – обзор существующей литературы, сбор и анализ данных, написание текста, оформление статьи по требованиям.

Ху Тинтин – сбор и анализ данных, написание текста, оформление статьи по требованиям.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ON THE PROSPECTS OF MINING 6.0 – NATURE-CENTERED GEOTECHNOLOGY OF THE SECOND HALF OF THE 21ST CENTURY

Sergey A. Zhironkin¹, Olga V. Zhironkina²,
Maria E. Konovalova³, Hu Tintin¹

¹T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

²Kemerovo State University

³Samara State Economic University

* for correspondence: zhironkinsa@kuzstu.ru



Article info

Received:
10 December 2024

Accepted for publication:
22 April 2025

Accepted:
30 April 2025

Published:
11 June 2025

Keywords: Industry 6.0, Mining 6.0, coal mining, geotechnology, post-mining, nature-centricity.

Abstract.

The article considers the concept of Mining 6.0 as a future technological platform for the development of mining industries in the context of increasing calls and actions by different countries – coal producers and consumers – to reduce greenhouse gas emissions to zero and combat climate change, along with efforts to ensure developing countries' access to cheap energy (UN Sustainable Development Goals). The technological differences of Mining 6.0 from Mining 5.0 (with characteristic human-centric development) and Mining 4.0 (focused on maximum productivity growth) platforms associated with the nature-centric vector of digital transformation are highlighted. The combination of digital Mining 6.0 technologies with traditional geotechnology (surface, underground) is considered in the article as an opportunity to achieve the largely mutually exclusive UN Sustainable Development Goals – climate action and affordable energy to the developed and developing countries. The authors substantiate the inevitability of the transition to a human-centric and then to a nature-centric technological development of coal mining in the future using the results of the analysis of coal mining dynamics in Russia and in the world, as well as labor productivity and environmental impact. The authors associate the prospects for maintaining the role of coal as an affordable energy source in the future with the growth of productivity of mining enterprises and the environmental vector of development of its mining technologies on a new digital basis.

For citation: Zhironkin S.A., Zhironkina O.V., Konovalova M.E., Hu Tintin. On the prospects of mining 6.0 – nature-centered geotechnology of the second half of the 21st century. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 2(168):144-154. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-144-154, EDN: GRUVSW

REFERENCES

1. Hu Tintin. Obzor nacional'nyh strategij perehoda k Industrii 5.0. *Jekonomika i upravlenie innovacijami*. 2022; 3(22):28–38. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-28-38.
2. Zhironkina O.V. Stanovlenie Majninga 4.0 kak otraslevoj innovacionnoj tehnologicheskoy platformy Industrii 4.0 v svete dostizhenija tehnologicheskogo suvereniteta. *Jekonomika i upravlenie innovacijami*. 2022; 3(22):60–77. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-60-77.
3. Abu-Abed F.N. Primenenie tehnologij intellektual'nogo upravlenija i biz-nes-proektirovanija Industrii 5.0 v Majninge 5.0. *Jekonomika i upravlenie innovacijami*. 2022; 3(22):50–59. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-50-59.

4. UN. Celi v oblasti ustojchivogo razvitija. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (lasr access: 17.12.2024)
5. Shubin A.A. Zadachi postmajninga v period aktivizacii tehnogennyh processov. *GIAB*. 2006; 3:115–117.
6. Zhironkin S., Abu-Abed F. Fossil Fuel Prospects in the Energy of the Future (Energy 5.0): A Review. *Energies*. 2024; 17(22):5606. DOI: 10.3390/en17225606.
7. Mingaleva Zh. A., Sigova M. V. Finansovye aspekty realizacii chetvertogo jenerGOPerehoda. *Finansovij zhurnal*. 2022; 14:5. Pp. 43–58.
8. LeBlanc C. *The Perils of Climate Risk: The People and the Science*. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing; 2019. 268 p.

9. Plakitkina L.S., Plakitkin Ju.A., D'jachenko K.I. Sovremennye trendy i prognoz razvitiya ugol'noj promyshlennosti mira i Rossii v usloviyah transformacii mirovoj jekonomiki. *Ugol'*. 2024; 3:44–51.
10. Meshkov G.B., Petrenko I.E., Gubanov D.A. Itogi raboty ugol'noj promyshlennosti Rossii za 2023 god. *Ugol'*. 2024; 3:18–29.
11. *Jekologicheskie problemy ugledobyvajushih regionov Rossii*. M.: Rosprirodnadzor; 2023. URL: https://rpn.gov.ru/upload/ecology_problems.pdf (last access: 17.12.2024) (poslednee obrashhenie: 17.12.2024)
12. *BP Energy Outlook: 2024 edition*. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2024.pdf> (last access: 17.12.2024)
13. Onifade T.T. *Fossil Fuel Subsidies in Canada: Governance Implications in the Net-Zero Transition*. Toronto, Canada: Canada Climate Law Initiative; 2022. 61 p.
14. McDonnell C., Gupta J. Beyond divest vs. engage: A review of the role of institutional investors in an inclusive fossil fuel phase-out. *Climate Policy*. 2023; 24:314–331.
15. Barbesgaard M., Whitmore A. *Smoke and Minerals: How the Mining Industry Plans to Profit from the Energy Transition*. London: Mining Network; UK, 2022. 20 p.
16. Alam M.M., Destek M.A., Haque A., Khudoykulov K. Can undergoing renewable energy transition assist the BRICS countries in achieving environmental sustainability? // *Environmental Science and Pollution Research*. 2024; 31:9700–9712.
17. Taneja A., Rani S., Raza S., Sefat S.M. Energy efficient IRS assisted 6G network for Industry 5.0. *Science Report*. 2023; 13:12814.
18. Otim J., Watundu S., Mutenyo J., Bagire V. Fossil Fuel Energy Consumption, Economic Growth, Urbanization, and Car-bon Dioxide Emissions in Kenya. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2023; 13:457–468.
19. Almusaed A., Yitmen I., Almssad A. Reviewing and Integrating AEC Practices into Industry 6.0: Strategies for Smart and Sustainable Future-Built Environments. *Sustainability*. 2023; 15:13464.
20. Poljakov A.N. Antihrupkost' kak jelement metodologii menedzhmenta riska // *Upravlenie finansovymi riskami*. 2020; 3(63):232–240.
21. Chourasia S., Tyagi A., Pandey S.M., Walia R.S., Murtaza Q. Sustainability of Industry 6.0 in Global Perspective: Benefits and Challenges. *MAPAN*. 2022; 37(2):443–452.
22. Heilala J., Singh K. Evaluation Planning for Artificial Intelligence-based Industry 6.0 Metaverse Integration. *Intelligent Human Systems Integration (IHSI)*. 2023; 69:692–703.
23. At Thariq Z.Z., Utami W.B., Haryono M.B., Vaz B.L. Educational Technology in Industry 6.0. *Wacana Akademika: Majalah Ilmiah Kependidikan*. 2024; 8(1):134–141.
24. Chavan G.R., Adholiya A. *Review of Study of Biochemical Water Parameters for Prediction and Analysis of Quality of Water Using Machine Learning Techniques in Industry 6.0*. Hershey: IGI Global; 2024. 20 p.

© 2025 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, Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Russia, Kemerovo, Vesennya st., 28, e-mail: zhironkinsa@kuzstu.ru
Olga V. Zhironkina, candidate of Pedagogy, Associate Professor, Kemerovo State University, 650000, Russia, Kemerovo, st. Krasnaya, 6, e-mail: o-zhironkina@mail.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
Hu Tintin, Post-Graduate, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Russia, Kemerovo, Vesennya st., 28, e-mail: hutingting@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Sergey A. Zhironkin – review of existing literature, formulation of a research task, scientific management, working with the editorial board.

Olga V. Zhironkina – data collection and analysis, writing a text, formatting an article according to requirements.

Maria E. Konovalova – review of existing literature, data collection and analysis, writing a text, formatting an article according to requirements.

Hu Tintin – data collection and analysis, writing a text, formatting an article according to requirements.

All authors have read and approved the final manuscript.

