



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-43-60>
УДК 330:004

Поступила 03.02.2026
Received 03.02.2026

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВАНИЯ, ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ И ФАКТОРОВ РАЗВИТИЯ

С. А. МОЗГОВ, Д. Г. ВОЙТЕХОВСКИЙ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: pb.pko@bmz.gomel.by

В первой четверти XXI века достигнут очередной предел роста экономического и научно-технического развития в промышленности, сформированные достижениями первой, второй и третьей промышленных революций и факторами экстенсивного роста производства. Импульс для формирования очередного этапа промышленного развития задает новая парадигма четвертой промышленной революции и шестого технологического уклада.

Цель работы: провести теоретические исследования научно-технической информации, направленные на получение комплексных знаний и их систематизацию по промышленно-технологической парадигме в XXI веке, выявить предпосылки цифровой трансформации, определить ее концепцию и контуры, взаимосвязь существующих концепций, технологии, вызовы и факторы развития организации на современном этапе в условиях ускоренного инновационного развития; повысить осведомленность о необходимости перехода промышленности на цифровые технологии; выявить гуманитарные смыслы и цели прогресса на современном этапе.

Обозначены механизм формирования и технологии шестого технологического уклада, актуальные для цифровой трансформации промышленного производства. Рассмотрены этапы, уровни, эффект и основные вызовы при цифровой трансформации промышленного производства.

Результаты выполненного исследования могут быть полезны для общего ознакомления при разработке стратегий цифровизации организаций, холдингов, которыми будет предусмотрена реализация инвестиционных проектов в рамках цифровой трансформации экономики Республики Беларусь.

Ключевые слова. *Мировые тенденции, направления развития металлургии, цифровизация, цифровая зрелость, цифровая трансформация, цифровая металлургия, умное производство, парадигма 4-й промышленной революции, концепция 4-й промышленной революции, 4-я промышленная революция, концепция цифровой трансформации промышленности, Индустрия 4.0, смарт-индустрия.*

Для цитирования. *Мозгов, С. А. Цифровая трансформация промышленного производства: концептуальные основания, обзор технологий и факторов развития / С. А. Мозгов, Д. Г. Войтеховский // Литье и металлургия. 2026. № 2. С. 43–60. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-43-60>.*

DIGITAL TRANSFORMATION OF INDUSTRIAL PRODUCTION: CONCEPTUAL FOUNDATIONS, REVIEW OF TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT FACTORS

S. A. MOZGOV, D. G. VOITEKHOVSKY, OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”,
Zhlobin, Gomel Region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: pb.pko@bmz.gomel.by

In the first quarter of the 21st century, another limit of growth in economic and scientific-technical development in industry was reached, formed by the achievements of the first, second and third industrial revolutions and factors of extensive growth in production. The impetus for the formation of the next stage of industrial development is given by the new paradigm of the fourth industrial revolution and the sixth technological order.

The purpose of the work: to conduct theoretical research of scientific and technical information aimed at obtaining comprehensive knowledge and its systematization according to the industrial-technological paradigm in the 21st century – to identify the prerequisites for digital transformation; to define its concept and contours, relationship of existing concepts, technologies, challenges and factors of organization development at the present stage in the conditions of accelerated innovative development; to raise awareness of need for industry to transition to digital technologies; to identify humanitarian meanings and goals of progress at the present stage.

Formation mechanism and technologies of the sixth technological paradigm, relevant for digital transformation of industrial production, are outlined.

The stages, levels, effects, and key challenges of digital transformation of industrial production are examined.

The results of completed study may be useful for general information when developing digitalization strategies for organizations and holdings that will implement investment projects within the framework of digital transformation of the economy of the Republic of Belarus.

Keywords. *Global trends, development directions in metallurgy, digitalization, digital maturity, digital transformation, digital metallurgy, smart manufacturing, paradigm of the 4th industrial revolution, concept of the 4th industrial revolution, 4th industrial revolution, concept of digital transformation of industry, Industry 4.0, smart industry.*

For citation. *Mozgov S.A., Voitekhovsky D.G. Digital transformation of industrial production: conceptual foundations, review of technologies and development factors. Foundry production and metallurgy, 2026, no. 2, pp. 43–60. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-43-60>.*

Введение

За последние годы тема и вопросы цифровизации все чаще появляются в поле нашего зрения, также активнее и шире входят в нашу повседневную деятельность, поэтому сегодня актуально рассмотреть концептуальные основания этого нового направления для повышения осведомленности о необходимости и подходах к цифровой трансформации производственно-хозяйственной деятельности.

Тезис, который представлен в работе А.В. Бабкина, Дина Хайци, С.В. Здольниковой, о том, что «с началом четвертой промышленной революции сочетание производства и цифровой экономики стало важным направлением глобального экономического развития, а цифровая трансформация предприятий – неизбежной тенденцией» [1], задает контуры и понимание роли процессов цифровизации на современном этапе развития человечества.

Анализируя мировые тенденции и факторы внешней среды, в 2023–2024 гг. была произведена актуализация основных направлений развития отечественной металлургии в разрезе мировых тенденций [2]. Настоящая статья продолжает раскрывать одно из новых, актуальных и стратегических направлений развития металлургии, которые были представлены в работе [2] – это цифровизация технологического процесса (Индустрия 4.0).

Современный уровень развития технологий создал такие условия, что сегодня мы живем в период постоянных изменений, когда на протяжении жизни одного поколения сменяется несколько господствующих технологий, а на протяжении своей жизни человек застаёт переход к новому технологическому укладу (далее – ТУ). Обновление техносферы упирается в психологические способности человека осваивать новую информацию.

Внимание заслуживает общая информация, раскрывающая характер глобальных изменений, которые происходят под воздействием распространения и применения современных цифровых технологий. Так, в сборнике трудов Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции с зарубежным участием приводится информация, что наблюдается «развитие принципиально новых бизнес-процессов, переход к комплексному построению цифровых экосистем на основе формирования киберфизических систем, создание цифровых платформ и цифровых двойников [1], а промышленная отрасль в настоящее время находится на пороге глубинных структурных изменений, вызванных цифровой трансформацией всех моделей и способов производства [1]; цифровая модернизация мировой экономики привела к появлению нового явления в экономическом развитии – цифровой экономики, основывающейся на внедрении передовых информационно-коммуникационных технологий» [1], и в работе Г.Г. Головенчик «Цифровая экономика» приводится, что «цифровая трансформация коренным образом преобразует компании и их бизнес-процессы на базе интернета и новых цифровых технологий» [9].

Стратегический вектор развития государства определяется глобальными тенденциями, исторической динамикой, текущим уровнем социально-экономического развития, его философией и целями. Так, в Республике Беларусь процессы цифровой модернизации экономики также набирают обороты, цифровое направление развития закреплено национальными стратегическими программными документами. В стране определены офисы цифровизации, ведется разработка стандартов.

Несмотря на растущую популярность цифровизации, цифровых экосистем как нового способа организации создания ценности, знания по данному вопросу недостаточны, что подчеркивает важность и актуальность изучения их природы, инструментов, возможностей и ограничений, чтобы повысить осведомленность о необходимости перехода промышленности на цифровые технологии.

Цель, методы и период исследования

Реагируя на вызовы на современном этапе развития, с целью раскрытия глубины, ширины и многогранности направления цифровой трансформации промышленного производства, ориентируясь на

трансдисциплинарный подход, исследование носит обзорный характер для структурирования и систематизации новой информации по данной теме для ознакомления руководителей, инженерно-технических работников и других специалистов, для понимания концепции, важности и необходимости цифровой трансформации производств при построении цифровой экономики. Период исследования: июнь 2019 г. – январь 2026 г.

Контурь цифровой эпохи: мировые тенденции, предпосылки и факторы развития на современном этапе

Внешний контур

Фундамент, концептуальные основания, доминирующие тенденции развития современного общества и направления стратегического развития на современном этапе задаются гуманитарно-, научно-технологической и промышленными революциями, технологическими укладами и другими фундаментальными низкочастотными процессами.

Пятый ТУ, который в соответствии с принятыми циклами развития охватил период с 1970-х годов до настоящего времени, нес научно-техническую парадигму, которая позволила промышленным предприятиям создать высокую степень автоматизации в управлении технологических процессов.

На текущем этапе мы переходим в новый мирохозяйственный и технологический уклад, где ведущую роль в развитии экономики играет научно-технический процесс и главной ценностью является человеческий интеллект [3, 4, 8].

Главными экономическими процессами XXI в. являются:

1. Переход в шестой технологический уклад.
2. Цифровизация с увеличением роли искусственного интеллекта и др. [5].

В работе [2] отражены внешние условия и контуры развития экономики на современном этапе: «В условиях исчерпания факторов экстенсивного роста производства главным акселератором развития экономики становится ее цифровизация. Цифровые платформы и технологии искусственного интеллекта постепенно выходят за рамки отрасли, охватывая все сферы жизнедеятельности. В условиях глобальной борьбы за технологическое лидерство Индустрия 4.0 выступает в качестве определяющей стратегии экономического развития» [2, 6].

Тренд и характер глобальных трансформаций на внешнем контуре в контексте современных мировых тенденций под воздействием цифровизации достаточно хорошо раскрывает работа Г.Г. Головенчик: «Основной тенденцией в развитии глобальной экономики конца XX – начала XXI вв. является переход от постиндустриальной экономики к так называемой цифровой экономике, базирующейся на информационно-коммуникационных технологиях (далее – ИКТ). Новые цифровые технологии качественным образом трансформируют все сферы жизнедеятельности человека – политику и экономику, образование и науку, бизнес и средства массовой информации, медицину и культуру» [9].

Ряд работ раскрывает цифровую экономику как следующий уклад и новую парадигму взаимодействия социума. Так, в учебнике В.Д. Марковой на эту тему обозначено следующее: «Цифровая экономика – это не отдельные проекты или направления автоматизации и развития, такие, как Интернет вещей (Internet of Things, IoT), большие данные (Big Data), Индустрия 4.0, умные (smart) технологии и многие другие. Это скорее новая парадигма развития экономики и общества, основанная на сетевых коммуникациях, объединении реального и виртуального миров. Это экономика, обеспечивающая переход на следующий уровень взаимодействия, возможности и угрозы которого пока лишь смутно осознаются» [7].

Из анализа экспертных мнений следует, что с 2010 г. мир вступил в новую стадию глобализации – цифровую глобализацию.

Исследовательская работа директора Института философии НАН Беларуси А.А. Лазаревича «Цифровая эпоха и контуры новой социотехнологической реальности» фиксирует происходящий переход в новую эпоху и описывает изменение характера социального поведения на современном этапе цивилизационного развития, как несовпадение скоростей технического прогресса и его осмысления человеком, и приводит к тому, что технологии создают новые социальные и экономические условия среды быстрее, чем мы успеваем выработать адекватный ответ, и современный человек должен это осознать и быть готов к такому вызову времени, новой скорости жизни: «Активная социотехнико-технологическая практика опережает инструментальные возможности компетентной рефлексии. Соотнесение скорости развития технологий и, как следствие, социально-экономических и инфраструктурных трансформаций

с человеческой жизнью позволяет говорить о качественном скачке скорости цивилизационного развития, знаменующем переход в новую темпоральную эпоху» [8].

Контуры новой промышленной парадигмы на базе четвертой промышленной революции и шестого технологического уклада

Основные термины

Концепция цифровой трансформации промышленного производства строится на новой терминологии, где важно определить предельно обобщающие термины и их определения. В связи с этим обозначены основные термины, которые требуют их детального изучения перед проведением цифровой трансформации производства и будут актуальны на ближайшую перспективу: парадигма, темпоральная эпоха, информационные технологии, информационно-коммуникационные технологии, робот, роботизация, автоматизация, автоматическая линия, четвертая промышленная революция, шестой ТУ, оцифровка, цифровизация, цифровая трансформация, цифровизация промышленности, цифровая трансформация промышленности, Индустрия 4.0, цифровая платформа индустрии 4.0, Интернет вещей, промышленный интернет вещей, цифровая индустрия, цифровой двойник, киберфизическая система, искусственный интеллект, цифровые технологии, цифровая экосистема, директор по цифровым технологиям (руководитель цифровой трансформации), цифровая экономика, всеобъемлющий Интернет [5].

Эволюция техногенных трендов

Общая информация, раскрывающая хронологию и содержание технологических укладов, представлена в работах Г.Г. Головенчик и В.Д. Марковой о цифровизации экономики и позволяет отследить и осмыслить технологическую эволюцию и ее влияние на социально-экономическое развитие за период XVIII – начало XXI в:

первая промышленная революция ассоциируется с паром, паровым двигателем и машинным производством (эпоха «угля и пара», 1760–1860 гг.) [9] позволила перейти к механизации производства за счет энергии воды и пара, и привела к увеличению ВВП на душу населения [9];

вторая промышленная революция, придумав двигатель внутреннего сгорания, электричество, конвейер Г.Форда и массовый рынок (эпоха «стали и поточных производств», 1860–1900 гг.), позволила осуществить индустриализацию, массовое производство в разных отраслях, основанное на разделении труда и использовании электроэнергии, в результате она продвинула человечество по пути коммуникаций, экономического и социального прогресса, увеличила ВВП на душу населения [10];

третья промышленная революция середины XX в. объединила науку и производство, дала старт развитию числового программного управления и микропроцессоров, внедрила атом, электронику, промышленных роботов и информационные технологии в производство, автоматизировав его (акцент на автоматизацию отдельных машин и процессов), дала человеку компьютер и внедрила ИТ-технологии во все области жизни человека, в результате чего выросло благосостояние человека и ВВП на душу населения, а человек (живой труд) постепенно выводился из производственного процесса [10];

четвертая промышленная революция [11] (Индустрия 4.0, умная (цифровая) автоматизация) «предусматривает сквозную цифровизацию всех физических активов и их интеграцию в цифровую экосистему вместе с партнерами, участвующими в цепочке создания стоимости» [12].

Четвертая промышленная революция – это текущая стадия технологического развития, характеризующаяся широким внедрением киберфизических систем, интернета вещей, облачных вычислений, искусственного интеллекта и других передовых технологий в производство и повседневную жизнь. Также следует отметить, что «Индустрия 4.0» способствует ускорению глобализации при сохранении региональной специфики [12].

Концепция цифровой промышленности и четвертой промышленной революции

Внедрение программ цифровой трансформации (рис. 1) по технологически развитым макрорегионам (США, Европа, Китай, Япония) показывает – реализация этих программ повышает конкурентоспособность субъектов реального сектора, что отражено в работе О.А. Зуевой [1].

Согласно исследовательской работе «Индекс зрелости Индустрии 4.0» Гюнтера Шу, Рейнера Андерла, Юргена Гауземайера, Михаеля тен Хомпеля, Вольфганга Вальстера, Индустрия 4.0 представляется, как проект будущего и стратегический план развития экономики, предусматривает масштабное

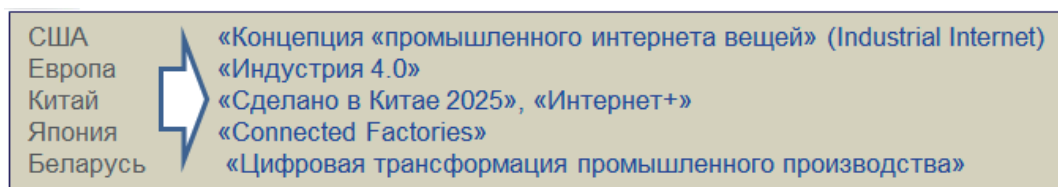


Рис. 1. Название программ цифровой трансформации
Примечание: собственная разработка на основе [1, 6]

применение информационно-коммуникационных технологий в промышленном производстве и совершение прорыва на стыке информационных и промышленных технологий, чтобы связать в едином информационном пространстве промышленное оборудование и информационные системы, что позволит им взаимодействовать между собой и с внешней средой без участия человека [13].

В. Д. Маркова в работе «Цифровая экономика» следующим образом описывает характер новой парадигмы цифровой трансформации промышленности: «Индустрия 4.0 – это новая парадигма промышленного производства, в соответствии с которой производственные системы и объекты, которые они создают, не просто связаны, но общаются между собой, передавая и используя информацию для выполнения дальнейших физических и интеллектуальных действий» [7].

При изучении изменения парадигмы экономического развития (изменение характера разделения труда) – цифровой революции познавательно будет рассмотреть эволюцию модели хозяйственного устройства общества (табл. 1), общая информация о хронологии и содержании которых представлена в работе Г. Г. Головенчик «Цифровая экономика»:

Таблица 1. Эволюция парадигмы экономического развития

Наименование парадигмы	Парадигма экономического развития (модель хозяйственного устройства общества)	Изменение способов выстраивания отношений между субъектами хозяйственной деятельности
Первая – аграрная (неолитическая) хозяйственная революция (около 8 тыс. лет до н.э.)	Переход человеческих общин от примитивной экономики охотников и собирателей к сельскому хозяйству	В экономиках общинного типа преобладает механизм взаимного согласования (совещательная координация), в экономиках иерархического типа (феодалное и плановое хозяйство) – административный способ координации
Вторая – промышленная (Великая индустриальная) революция XVIII–XIX вв.	Переход от ручного труда к машинному, формирование промышленности как самостоятельной сферы производства, развитие рыночной экономики	Основным способом координации хозяйственного взаимодействия становится рыночный
Третья – научно-техническая революция (НТР), начавшаяся в середине XX в.	Коренная перестройка материально-технической базы общественного производства на основе комплексной автоматизации производства и управления, использования искусственных конструкционных материалов и новых видов энергетики. Развитие сферы услуг, трансформация индустриального общества в постиндустриальное	
Четвертая – цифровая революция начала XXI в.	Отделение центров разработки от производственных и обслуживающих подразделений, перераспределение большей части создаваемого общественного богатства в сферу интеллектуальной и организационной деятельности. Вытеснение живого труда роботизированными комплексами и системами искусственного интеллекта	Постепенное вытеснение рынка и переход к сетевым формам хозяйственного взаимодействия, в основе которых лежит формирование устойчивых связей между хозяйствующими субъектами на базе постоянного прямого обмена информацией и выстраивания отношений взаимного доверия между очень широким кругом субъектов экономики [9]

Примечание: собственная разработка на основе [9, с. 38].

Проводя исследования по изучению концепции цифровой промышленности и четвертой промышленной революции, обратимся к анализу научных исследований мирового опыта цифровой трансформации экономики, представленному в сборнике трудов Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции с зарубежным участием «Цифровая экономика, умные инновации и технологии»:

необходимость в цифровизации промышленных предприятий обусловлена тем, что решить проблему обработки огромных массивов данных, возникающую на многих предприятиях, можно только с помощью использования машин [1];

концепция Индустрия 4.0 подразумевает переход производства в формат цифрового, которое будет управляться различными интеллектуальными системами, а с ее компонентом Интернет вещей, управление устройствами производственных линий осуществляется удаленно, и данные из таких систем поступают в облако [1];

современное производство по-прежнему полагается на робототехнику и автоматизированные процессы, но умное производство внедряет искусственный интеллект и системы дополненной реальности, основанные на работе с большими данными и высокотехнологичными рабочими процессами [1];

концепция четвертой промышленной революции предусматривает сквозную цифровую трансформацию промышленности посредством интеграции всех производственных активов в цифровую киберфизическую экосистему, объединяющую институциональную среду и отраслевую цифровую инфраструктуру, связывающую отдельные промышленные предприятия в интеграционную цифровую систему с другими участниками цепочки создания добавленной стоимости промышленного продукта, способствуя при этом росту совокупной факторной производительности [14].

Концепция Индустрия 4.0 предусматривает широкий комплекс взаимосвязанных умных производственных систем и цифровых технологий, которые отражены на графической концептуальной модели (рис. 2), приведенной в работе Г. Г. Головенчик [9].



Рис. 2. Концепция Индустрия 4.0 и соответствующие цифровые технологии [9]

Для изучения общей структуры экосистемы интернета вещей обратимся к работе «Перспективы развития «Интернета вещей» в России», где раскрывается, что интернет вещей представляет собой «набор технологических решений для сбора, передачи, агрегации данных и платформы, позволяющей обработать данные и использовать их для реализации умных решений» [15] (рис. 3).

Как отмечено в работе О. А. Смирновой и У. М. Смирновой «Проблемы цифровизации промышленности в России», «под цифровизацией промышленного предприятия понимается не только автоматизация этапов производства, но и использование цифровых технологий в сквозном процессе, в том числе в ведении финансовой и организационной деятельности» [1] – все это должно служить и давать доступ человеку для настройки, контроля, оптимизации бизнес-процессов и коммуникаций.

Алгоритм формирования технологического уклада. Хронология технологических укладов

Анализируя характер глобальных трансформаций и вызовы на современном этапе развития, для изучения, распознавания фазы и алгоритма формирования технологического уклада обратимся к работе



Рис. 3. Технологическая экосистема интернета вещей [15]

Э.В. Убушиева «Экономическая безопасность в различных технологических укладах», в которой раскрываются следующие аспекты «жизненного цикла технологического уклада» [16, рис. 1]:

1) ядро ТУ: «каждому ТУ присущи свои доминирующие технологии, которые составляют его ядро» [16];

2) смена ТУ: «требует соответствующих изменений в институциональной и социальной системах, которые способствуют не только снижению социальной напряженности, но и массовому внедрению технологий нового технологического уклада и соответствующих ему типов потребления и образа жизни» [16];

3) широкое распространение и рост ТУ: «происходит стремительное распространение нового уклада, который начинает занимать доминирующее положение в хозяйственной структуре и становится основой экономического роста» [16];

4) трансформации в фазе роста ТУ: «в фазе роста большая часть технологических цепей предшествующего технологического уклада перестраивается в соответствии с потребностями нового, одновременно с этим происходит зарождение следующего уклада, пребывающего в эмбриональной стадии до тех пор, пока доминирующий технологический уклад не достигнет пределов своего роста, после чего начнется очередная технологическая революция» [16];

5) функционирование экономической системы: экономическая система любой страны всегда функционирует на базе нескольких ТУ [16].

Для изучения эволюционного хода мировой технической трансформации за предыдущие примерно 255 лет за общей информацией о хронологии и содержании технологических укладов обратимся к работе С. Ю. Глазьева «Теория долгосрочного технико-экономического развития» и приведем основные характеристики технологических укладов (табл. 2) [17].

Как было отмечено в работе С. Ю. Глазьева «О неравномерности современного экономического роста как процесса развития и смены технологических укладов», в настоящее время «формируется воспроизводственная система нового, шестого технологического уклада, становление и рост которого определит глобальное экономическое развитие в ближайшие два-три десятилетия» [18], и который, как отмечено в работе «Основные направления развития отечественной металлургии в разрезе мировых тенденций», будет характеризоваться развитием биотехнологий, основанных на достижениях молекулярной биологии и геномной инженерии, нанотехнологий, систем искусственного интеллекта, глобальных информационных сетей, интегрированных высокоскоростных транспортных систем [2].

Согласно методическим рекомендациям по отнесению технологий к V и VI технологическим укладам, утвержденным приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 06.06.2017 № 166, можно соотнести следующие технологии:

«к V технологическому укладу: информационно-коммуникационные технологии; биотехнологии; технологии в области микро- и радиоэлектроники; технологии в области роботостроения

Таблица 2. Развитие технологических укладов [17, с. 96–99]

Характеристика уклада	Номер технологического уклада				
	1	2	3	4	5
Период доминирования	1770–1830 гг.	1830–1880 гг.	1880–1930 гг.	1930–1980 гг.	от 1980–1990 до 2030–2040 гг.
Ядро технологического уклада	Текстильная промышленность, текстильное машиностроение, выплавка чугуна, обработка железа, строительство каналов, водяной двигатель	Паровой двигатель, железнодорожное строительство, транспорт, машино-, паростроение, угольная и станковая промышленность, черная металлургия	Электротехническое, тяжелое машиностроение, производство и прокат стали, линии электропередач, неорганическая химия	Автомобиле-, тракторостроение, цветная металлургия, производство товаров длительного пользования, синтетические материалы, органическая химия, производство и переработка нефти	Электронная промышленность, вычислительная, оптоволоконная техника, программное обеспечение, телекоммуникации, роботостроение, производство и переработка газа, информационные услуги
Ключевой фактор	Текстильные машины	Паровой двигатель, станки	Электродвигатель, сталь	Двигатель внутреннего сгорания, нефтехимия	Микроэлектронные компоненты
Формирующееся ядро нового уклада	Паровые двигатели, машиностроение	Сталь, электроника, энергетика, тяжелое машиностроение, неорганическая химия	Автомобилестроение, органическая химия, производство и переработка нефти, цветная металлургия, автостроительное строительство	Радары, строительство трубопроводов, авиационная промышленность, производство и переработка газа	Биотехнологии, космическая техника, тонкая химия
Преимущества данного ТУ по сравнению с предыдущим	Механизация и концентрация производства на фабриках	Рост масштабов и концентрации производства на основе использования парового двигателя	Повышение гибкости производства на основе использования электродвигателя, стандартизация производства, урбанизация	Массовое и серийное производство	Индивидуализация производств и потребления, повышение гибкости производства, преодоление экологических ограничений по энерго- и материалопотреблению на основе АСУ, деурбанизация на основе телекоммуникационных технологий
Основные экономические институты	Конкуренция отдельных предпринимателей и мелких фирм, их объединение в партнерства, обеспечивающие кооперацию индивидуального капитала	Концентрация производства в крупных организациях. Развитие акционерных обществ, обеспечивающих концентрацию капитала на принципах ограниченной ответственности	Слияние фирм, концентрация производства в картелях и трестах. Господство монополий и олигополий. Концентрация финансового капитала в банковской системе. Отделение управления от собственности	Транснациональная корпорация, олигополии на мировом рынке. Вертикальная интеграция и концентрация производства. Дивизиональный иерархический контроль и доминирование техноструктуры в организациях	Международная интеграция мелких и средних фирм на основе информационных технологий, интеграция производства и сбыта. Поставки «как раз вовремя»

и приборостроения; технологии в области вычислительной, оптоволоконной техники и офисного оборудования; технологии производства новых материалов с заданными свойствами; технологии возобновляемых источников энергии и др.;

к VI технологическому укладу: нанотехнологии; генно-инженерные и клеточные технологии; технологии искусственного интеллекта; аддитивные технологии» [19].

Для понимания новых реалий от трансформаций в бизнесе под воздействием современных NBIC-технологий (nano-нано, bio-био, info-инфо, cogno-когно) [7], способствующих развитию интернета вещей и различных сфер, которые он охватывает, обратимся к работе М. Иансати, К. Лакхани «Вездесущая «цифра»» [20]:

в «англоязычной литературе эти новые реалии получили различные названия: «Цифровая экономика» (Digital Economy), «API экономика» (Application Programming Interface Economy), «Платформенная экономика» (Platform Economy); «Экономика алгоритмов» (Algorithm Economy); «Экономика экосистем» (Economics of Ecosystems);

новые реалии формируют новые требования к системе управления бизнесом, изменяют правила и механизмы конкуренции, заставляют пересматривать практически все звенья цепочки, сами цепочки создания стоимости; изменяются структура и границы отраслей, происходит их конвергенция; в процессе цифровой трансформации отраслей происходит не смещение старого и замещение его новым, а появляются новые возможности взаимодействия и перегруппировки» [20].

За сопоставлением хронологии смены технологических укладов обратимся к экспертному мнению. Так, в работе А. А. Лазаревича «Трансформация идеи технологического детерминизма в цифровую эпоху» приводится, что «характерной особенностью трансформации общей эволюционной линии становления и функционирования названных укладов является то, что продолжительность каждого последующего технологического этапа заметно сокращается» [21].

Роль и влияние потенциала развития информационно-коммуникационных технологий и цифровизации на очередной технологический уклад отмечены в работе [2] следующим образом: «Накопленный к XXI в. потенциал развития информационно-коммуникационных технологий является причиной существенных перемен в функционировании экономических систем разного уровня – от мировой экономики до отдельных субъектов хозяйствования, а цифровизация – важнейшим фактором экономического роста национальных и глобальной экономики. Под их воздействием происходит переход от внедрения отдельных цифровых технологий к комплексному построению цифровой экосистемы. Особую важность процессу цифровизации придает ее определяющее значение в переходе к четвертой промышленной революции и к шестому технологическому укладу» [2].

Особенно важен для нас момент, раскрывающий взаимосвязь двух концепций (технологических укладов и промышленных революций) и их региональную привязку, который приводится в работе Г. Г. Головенчик «Цифровизация белорусской экономики в современных условиях глобализации» и дает понимание, что современный этап, именуемый в США, ЕС и других развитых державах четвертой индустриальной (промышленной, технологической) революцией, в странах ЕАЭС отождествляется со становлением шестого технологического уклада; в западной литературе не используется понятие технологического уклада, а при рассмотрении коренных изменений технологий, приводящих к фундаментальным преобразованиям в экономических отношениях и жизни общества в целом, пишут о промышленных революциях (Industrial Revolution) [10, с. 31].

Контурсы цифровой экономики

Чтобы оценить контурсы и представить картину цифровой экономики, характер и соотношение технологий, которые задаются трансформационными процессами под воздействием цифровизации, обратимся к следующим работам:

1) в работе Э. К. Мирзаметовой, Е. А. Мамий отмечено, что «сегодняшняя экономическая ситуация претерпевает различные изменения посредством объединения цифровых платформ отраслей производства, рынков и клиентов, исходя из этого, данная интеграция увеличивает эффективность экономических отношений, что является залогом стабильного экономического роста» [1];

2) в работе Г. Г. Головенчик [10] отмечено:

«с 2010 года по настоящее время происходит широкое распространение цифровых технологий, формирующих полноценную цифровую экономику, третья волна цифровых технологий меняет саму бизнес-модель компаний, повышает эффективность затрат и выявляет новые возможности на рынке» [10];

«развитие инфраструктуры цифровой экономики подводит человечество к порогу нового этапа цифровой революции, характерная черта которого – слияние онлайн и офлайн-сфер нашей жизни» [10];

«технологическая структура цифровой экономики» [10], отражающая цифровые технологии и их соотношение, представлена на рис. 4 [9].

Современные цифровые технологии и информационные системы

Обращаясь к материалам работ К. С. Кожинной, Т. Ю. Кудрявцевой «Анализ сущности основных понятий цифровой экономики», О. В. Мясниковой «Развитие производственно-логистических систем:



Рис. 4. Технологическая структура цифровой экономики [9]

теория, методология и механизмы цифровой трансформации», можно обозначить основные передовые цифровые производственные технологии и информационные системы, такие, как:

«CAD (Computer Aided Design – система автоматизированного проектирования), CAO (Computer-aided) [22] Optimization – система автоматизации инженерных расчетов, моделирования, оптимизации параметров изделий и анализа), PLM (Product Lifecycle Management – технология управления жизненным циклом изделий и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации; PLM включает в себя не только CAD и CAO, но и другие системы, такие, как PDM (управление данными об изделии), CAM (автоматизация производства), CAPP (разработка техпроцессов), MPM (моделирование производства) [1, 22];

ERP (Enterprise Resource Planning – система планирования ресурсов предприятия (стратегическая система), охватывающая все аспекты его деятельности, от финансов и продаж до производства и управления персоналом) [1, 22];

MES (Manufacturing Execution System – система управления производственными процессами (оперативная система), отвечающая за оперативное управление и контроль на уровне цеха, отслеживая и оптимизируя выполнение производственных операций в реальном времени) [1, 22];

промышленная сенсорика, индустриальный Интернет [1], цифровые двойники, 3D-принтеры (аддитивное производство), системы анализа данных (BI), расширенная аналитика (augmented analytics, AA), искусственный интеллект (artificial intelligence, AI), технологии виртуальной и дополнительной реальности [22] и др.

Завершая обзор контуров, концепции, техники и технологий цифровой промышленной парадигмы, обратимся к работе В. Д. Марковой «Цифровая экономика», в которой раскрывается, что: «Революционные преобразования в бизнесе во многом связаны с такими характеристиками техники и технологий, как развитие интеллектуальных составляющих техники, цифровой коннективности, технологий хранения и обработки данных, технологий дополненной и виртуальной реальности, когнитивных технологий, что позволяет создавать дополнительную функциональность физических продуктов, развивать новые виды услуг, по-новому взаимодействовать с потребителями и партнерами» [7].

Внутренний контур – обзор событий в Республике Беларусь и ЕАЭС

Обращаясь к работе Г. Г. Головенчик «Цифровая экономика», отметим, что «для Беларуси цифровая трансформация: уникальный шанс переориентировать экономику в современность, обеспечив ее долгосрочный устойчивый рост» [9]; относится к одному из приоритетов социально-экономического развития страны на 2026–2030 гг.

По оценке Министерства экономики Республики Беларусь:

экономика Беларуси базируется преимущественно на технологиях IV уклада и в ней относительно мало технологий V и VI укладов; в 2023 г. производительность труда по паритету покупательской

способности в постоянных ценах 2021 г. в республике в 2,3 раза ниже, чем в государствах еврозоны, и в 1,6 раза, чем в России;

на 10 тыс. работников в 2025 г. приходится 4–6 роботов; национальной стратегией устойчивого развития до 2040 г. по промышленному комплексу поставлена цель – в 2040 г. достигнуть не менее 150 роботов на 10 тыс. среднесписочных работников в промышленности [23].

Как было отмечено в работе «Основные направления развития отечественной металлургии в разрезе мировых тенденций», при осуществлении процесса цифровизации промышленного комплекса акцент будет сделан на выработку комплексных программно-стратегических документов по цифровой трансформации промышленного сектора, аналогичных концепциям «Индустрия 4.0» (ФРГ), «Интернет +» (КНР), по масштабному переходу к новым технологиям, включая изменение существующих бизнес-моделей [6].

Указом Президента Республики Беларусь от 29 ноября 2023 года № 381 «О цифровом развитии» ОАО «Центральный научно-исследовательский и проектно-технологический институт организации и техники управления» (г. Минск, далее – ОАО «ЦНИИТУ») определено в качестве «офиса цифровизации» Министерства промышленности Республики Беларусь и может выполнять на договорной основе работы, оказывать государственным органам и организациям услуги, которые предусматривают:

услуги по организационно-техническому обеспечению в сфере цифрового развития;

разработка, внедрение и сопровождение цифровых платформ и информационных систем;

ОАО «ЦНИИТУ» реализует следующие мероприятия Государственной программы «Цифровое развитие Беларуси на 2021–2025 годы»:

мероприятие 61 «Разработка и внедрение цифровой платформы Министерства промышленности»;

мероприятие 63 «Разработка единой виртуальной выставки предприятий Министерства промышленности».

разработка, внедрение и сопровождение промышленных цифровых платформ на базе технологий «Индустрии 4.0».

ОАО «ЦНИИТУ» осуществляет разработку и внедрение: комплексной системы автоматизации учета и управления предприятием; цифрового двойника изделия; цифрового двойника производства; цифрового двойника обслуживания продукта.

Следует отметить, что в Беларуси создан институт офисов цифровизации. Всего на нынешний период функционирует 40 офисов из числа юридических лиц, подчиненных либо входящих в систему государственных организаций. Их основной задачей является организационно-техническое обеспечение реализации мероприятий в сфере цифрового развития.

Цифровые технологии и искусственный интеллект, инновационные технологии в промышленности отнесены к приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности в стране на 2026–2030 гг.

В рамках перехода экономики на новый технологический уклад, динамичного развития цифровой экономики прогнозируется, что государственным сектором особое внимание будет уделено развитию цифровой платформы «Индустрии 4.0», а также smart-индустрии, внедрению комплексных интеллектуальных производственных систем и решений.

Также следует отметить, что в рекомендациях Совета Евразийской Экономической Комиссии от 05.12.2018 № 1 в ЕАЭС была принята Концепция создания условий для цифровой трансформации промышленности и формирования единого цифрового пространства, в которой обозначены следующие моменты» [1]: 1) цели, задачи, принципы, инструменты, этапы, условия цифровой трансформации промышленного производства; 2) формирование политики цифровой трансформации промышленности в странах ЕАЭС должно проводиться на принципах системности, руководящей роли государственных органов в партнерстве с бизнес-сообществами, скоординированности с политикой ЕАЭС и ключевыми мировыми тенденциями, научной проработки [24].

Следует отметить основные достижения, которые демонстрируют, что Беларусь прилагает значительные усилия для интеграции цифровых технологий во все сферы жизни, что способствует ее роли в глобальной цифровой трансформации:

сегодня Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР) – ведущий вуз в отрасли, крупный учебно-научно-инновационный комплекс по подготовке специалистов в области информационных технологий [25];

наличие среды резидентов Парка высоких технологий, занимающих ключевые позиции на рынке цифровой трансформации производств в контексте Индустрии 4.0;

IT-специалисты (граждане Республики Беларусь) входят в топ-20, работающих в области искусственного интеллекта;

Беларусь является участником международных организаций, таких, как Международный союз электросвязи, что способствует обмену опытом и развитию национальных IT-решений на мировом уровне;

наша страна активно развивает цифровую инфраструктуру и внедряет государственные услуги в электронном виде, что повышает эффективность управления и взаимодействие с гражданами;

в Беларуси уделяется внимание подготовке квалифицированных кадров для IT-отрасли, что является необходимым условием для успешной цифровой трансформации.

Важно отметить, что на экспертном уровне обозначено, что все решения цифровой экономики в нашей стране, которые принимаются сегодня и реализовываются, должны быть совместимыми между собой. Это касается цифрового правительства, расчетов, учетов, контроля и управления бизнес-процессами.

Факторы развития в условиях четвертой промышленной революции, цифровизации

Принципы технологической трансформации предприятий (рис. 5):

Создание и развитие платформ, технологий, среды для взаимодействия. Внедрение развитой высокопроизводительной ИКТ-инфраструктуры (сетей 5G) – основной катализатор цифрового развития.

Для решения задачи по ускоренному технологическому развитию важно думать не только о модернизации производства, но и о повышении качества подготовки квалифицированных инженерных кадров, раскрытие потенциала технологического реинжиниринга. Использовать новые подходы вовлечения и развития сотрудников на основе цифровой культуры и мышления. Предприятие должно инвестировать в переподготовку кадров с целью соответствия специалистов формирующемуся новому облику металлурга – цифрового, мобильного, аналитически мыслящего.

Использование новых технологий, данных для адаптации продуктов и сервисов.

Инновативность как корпоративная культура.



Рис. 5. Элементы технологического развития компаний

К разработке внедрения системы цифровой трансформации предприятия необходимо привлекать экспертов, у которых есть опыт внедрения и использования подобных платформ.

Цифровая индустрия относится к основополагающим факторам устойчивого экономического развития в условиях новых реалий геополитики.

Отметим следующие факторы развития в условиях четвертой промышленной революции, цифровизации:

1. В работе П. П. Гриценко отмечается, что:

1.1. в группе компаний должно развиваться технико-технологическое обеспечение предприятий в концепции «Индустрия 4.0» (применение технологий интеллектуальной обработки данных Big Data, Data Lake, Business Intelligence, а также о разного рода технологий обработки и передачи информации: например, датчики, передающие информацию о событиях реального мира в информационную среду) [1];

1.2. в группе компаний присутствует цифровая платформа для наиболее тесного информационного взаимодействия между покупателями и подрядчиками группы компаний; благодаря цифровой платформе покупатели находят продавцов и наоборот; цифровая платформа является «лицом» группы компаний как для внутренних, так и для внешних клиентов [1];

1.3. в группе компаний развивается и поддерживается культура «мышления в цифровом пространстве» (цифровая трансформация – глобальный процесс, осуществление которого сильно зависит от готовности и способности персонала мыслить в цифровой парадигме) [1].

2. В работе Г. Г. Головенчик отмечено, что «развитие IoT в мире стало возможным благодаря четырем технологическим трендам: снижению стоимости вычислительных мощностей; снижению стоимости передачи данных; быстрому увеличению количества подключенных устройств; развитию облачных технологий и Big Data» [9, с. 89].

3. Разработка стандартов и требований в сфере кибербезопасности – базис повышения цифровой устойчивости.

4. Разработка комплексной программы внедрения, которая должна содержать этапы: анализ текущих процессов, выбор технологий, разработка плана внедрения, обучение сотрудников, мониторинг и оценка результатов, интеграция с существующими системами.

Этапы и уровни цифровизации промышленного производства

Первый этап (построение цифровой экосистемы предприятия):

Первый уровень цифровой трансформации: автоматизация и цифровизация отдельных элементов внутренней среды предприятия: использование оборудования с программным управлением, установка датчиков, устройство систем для сбора и передачи данных, внедрение программного обеспечения для ключевых бизнес-процессов, а также интеграция этих решений на базе ERP-системы. Это обеспечивает сбор, обработку и доступ к достоверной информации для принятия управленческих решений.

Второй уровень цифровой трансформации: внедрение интеллектуальных цифровых технологий, таких, как искусственный интеллект, предиктивная аналитика, цифровые двойники изделий и производства и облачные платформы. Это позволяет обеспечить автоматизированную обработку больших объемов данных, поддержку и частичную автономность принятия решений и создает основу для построения полностью цифровой интегрированной среды предприятия (Smart Factory).

Следующий этап: возможность интеграции экосистем отдельных предприятий в кооперационные цепочки и цифровые платформы (база знаний и стандартов, техническая инфраструктура, торговая, коммуникационная и координационная площадка).

Обратимся к работе П. П. Гриценко для определения основных «этапов проекта цифровой трансформации в группе компаний» [1]:

«1. Исследовать текущие бизнес-процессы и информационные системы, описав текущую модель системы управления.

2. Определить желаемый уровень информатизации бизнес-процессов и выстроить целевую модель.

3. Подготовить для каждого предприятия дорожные карты выхода на целевую модель.

4. Синхронизировать дорожные карты и определить потребность в ресурсах для реализации проекта.

5. Сформировать консолидированную дорожную карту реализации проекта цифровой трансформации» [1].

Полезность цифровой трансформации промышленного производства

1. Доступность огромных объемов данных и информации в реальном времени обеспечивает возможность лучшего понимания того, как определенные вещи соотносятся друг с другом, поэтому главный экономический потенциал Индустрии 4.0 заключается в ее способности ускорить корпоративные процессы принятия решений и адаптации. Цифровизация предприятия, промышленного производства позволит принимать решения, основанные на данных, в реальном времени с помощью цифровой модели. Для этого компаниям нужно воспринимать данные и информацию как ресурс, который обеспечивает создание ценности.

2. В работе О.В. Дударевой, Е.В. Шкарупета приводится, что «цифровая трансформация позволит обеспечить синергию кадровых ресурсов и материальной базы с технологиями машинного обучения и интернета вещей» [1]. Дополняя этот аспект обратимся к работе Г.Г. Головенчик, где отмечается, что «В отличие от классического интернета, обеспечивающего коммуникативные связи между людьми, интернет вещей обеспечивает межмашинные коммуникации в формате M2M между неодушевленными вещами, а также между неодушевленным и одушевленным мирами, между вещами и человеком, информируя последнего о происходящем, принимая от человека соответствующие решения в форме сигналов для корректировки ситуации» [9].

3. Цифровая трансформация дает рост производительности физического и интеллектуального труда, минимизацию издержек, повышение производительности и эффективности экономических процессов благодаря автоматизации всех процессов и технологий обработки данных.

4. В работе О.В. Дударевой, Е.В. Шкарупета раскрывается аспект, что «реализация программы цифровой трансформации позволит повысить эффективность, управляемость и конкурентоспособность компаний, сделает их более гибкими и устойчивыми к рыночным изменениям» [1].

5. Технологии Больших данных можно использовать для систем бизнес-аналитики (Business Intelligence), повышения отказоустойчивости, повышения качества продукции, предсказания жизненного цикла устройств, планирования производства.

6. О стратегическом эффекте цифровизации отмечается в работе Г.Г. Головенчик, что «цифровизация освобождает человека от рутинных операций, позволяет заняться стратегией, устраняет препятствия в развитии предпринимательской деятельности, способствует росту прибыли» [26].

7. Интеллектуальное управление энергопотреблением предусматривает внедрение систем интеллектуального управления, что позволяет снизить затраты на электроэнергию и другие ресурсы, а также уменьшить воздействие на окружающую среду.

Вызовы на современном этапе цифровой трансформации

В работах А. А. Правдиченко, О. А. Смирновой и А. А. Лазаревича обозначены «основные вызовы цифровизации экономики, которые можно разделить на финансовые, кадровые, административные, информационные» [1], гуманитарно-культурные [27] и охарактеризовать их следующими аспектами:

финансовый вызов определяется тем, что цифровая трансформация промышленного производства – это сложный, долгий, дорогой, но необходимый процесс [1];

кадровый вызов связан с нехваткой квалифицированных сотрудников новых специальностей, так как выход на новый технологически прогрессивный путь развития «(процесс цифровизации промышленности) не может быть осуществлен без подготовки высококвалифицированных специалистов» [1], надлежащей организационной структуры и изменения культуры компании [1]. Развитие человеческого потенциала должно осуществляться непрерывно по программам повышения квалификации и переподготовки кадров, также по индивидуальным программам повышения компетентности и профессионализма. Вследствие развития новых технологических укладов требования к компетенциям человека будут только повышаться;

«административные вызовы представляют собой устаревшие стандарты и неспособность действующего регулирования удовлетворять потребности нового технологического уклада, и в настоящее время такие стандарты только начинают появляться в нашем законодательстве» [Цит. по 1, с. 47];

«информационный вызов связан с неготовностью отечественных предприятий к трансформации своего бизнеса путем внедрения новых информационных технологий, с другой стороны, сами технологии также носят противоречивый характер из-за недостатка информации о необходимости и правильности их использования, что влечет недоверие к их применению» [Цит. по 1, с. 48]. Также в рамках обеспечения информационной безопасности необходимо обеспечить создание собственной инфраструктуры и кадрового потенциала, отвечающих за кибербезопасность цифровых платформ, информационных и бизнес-систем, так как технические решения, предлагаемые отдельными странами, изначально могут предполагать доступ к данным без уведомления конечных пользователей. Предстоит освоить компетенции по извлечению знаний и смыслов из огромного потока данных;

гуманитарно-культурный вызов (смыслы и цели прогресса) актуален и связан с тем, что сегодня совершенствуются и умножаются технико-технологические средства цивилизационного развития, что подводит нас к порогу сквозной вертикальной и горизонтальной цифровой трансформации. В связи с этим ключевая задача современности – устранение наметившегося ценностного разрыва между возможностями социотехномира и гуманитарными целями (человеческими смыслами) [27].

Работа А. А. Правдиченко, О. А. Смирновой дополняет общую картину, определяя «структуру вызовов на современном этапе развития для функционирования национальных экономик и предприятий» [1] следующим: «Формирование цифровой экономики приводит к развитию новых цифровых социальных структур и социально-профессиональных групп, к реструктуризации отраслей экономики и перераспределению кадровых и технологических ресурсов в пользу инновационных и наукоемких производств и другим последствиям. Эти тенденции формируют новую структуру вызовов для функционирования национальных экономик и предприятий, в частности, формируют новую конкурентную среду на международной арене» [1].

Во время пленарного выступления на заседании Высшего Евразийского экономического совета и IV Евразийского экономического форума в Минске 26 июня 2025 г. Президент Республики Беларусь А. Г. Лукашенко задал контуры цифрового суверенитета: «При этом внутри союза необходимо заканчивать лозунги о сохранении национального цифрового суверенитета. Наоборот, нужно на практике состыковать используемые программные платформы и обеспечить трансграничный обмен информацией из национальных баз и реестров, признать электронные подписи и цифровые документы.». Также во

время совещания 10 ноября 2025 г. Президент Беларуси обратил внимание, что к цифровизации нужно подходить разумно, не переводя всю информацию в цифру, и не следует прибегать к цифровизации там, где без нее можно обойтись. И предложил, как и прежде, хранить некоторые вещи на бумажных носителях, так как такое решение позволит сохранить информацию и избежать ее утечек.

Дополняя описание вызовов цифровизации экономики, обратимся к работе В. Д. Марковой «Цифровая экономика» и приведем «барьеры цифровизации промышленности:

текущее состояние предприятий: некоторые из них только начинают этап автоматизации;

желание и готовность руководителей предприятий к изменениям» [7];

текущее состояние технологий Индустрии 4.0: нет опыта, технологий, концепции и видения трансформации предприятий.

Таким образом, предельно обобщая и примеряя современные тренды и вызовы к Республике Беларусь, можно подытожить тезисом, обращаясь к работе «Исследование: Шестой технологический уклад. Циклы Кондратьева» [28]: «переход к новому шестому технологическому укладу является одним из главных социально-экономических и исторических вызовов первой половины XXI века» [4].

Выводы

Кардинальные изменения, произошедшие за последние годы на внешнем контуре, сформировали новую глобальную реальность. Новая волна цивилизационного прогресса и новая социальность, повышают требования к пониманию жизни, компетенциям, интеллекту и ответственности человека, требуют многомерных и быстрых интеллектуальных инструментов управления сложными объектами социотехномира.

Установлена взаимосвязь двух концепций: технологических укладов и промышленных революций – на временной шкале 2010–2060 гг. в работе Г. Г. Головенчик раскрывается цифровая экономика, которая является составной частью и начальной фазой шестого ТУ и 4-й промышленной революции, обозначаемую термином Индустрия 4.0 (рис. 7) [9].

Четвертая промышленная революция, цифровизация – это драйвер научно-технического прогресса промышленности XXI в. В настоящее время особую актуальность приобретают вопросы комплексной автоматизации и роботизации производственных линий на промышленных предприятиях в целях повышения качества, производительности труда и снижения себестоимости выпускаемой продукции, снижения человеческого фактора.

Особую актуальность обретают оценка текущего уровня и цифрового потенциала для развития предприятий, а необходимым условием осуществления цифровой трансформации промышленного производства является синхронизация стратегии развития информационных технологий и бизнес-стратегии предприятия.

В соответствии с работой [23] в металлургической промышленности одним из ключевых направлений развития станет цифровая трансформация, направленная на оптимизацию бизнес-процессов отечественных промышленных предприятий с использованием передовых производственных технологий, базирующихся на принципах концепции «Индустрия 4.0» [23], также предусматривается цифровая трансформация процессов управления предприятиями и производством.

Если речь идет о цифровой трансформации промышленности в соответствии с концепцией «Индустрия 4.0», в таком случае должна быть инициирована и разработана стратегия развития промышленности «Платформы Индустрии 4.0» и государственная программа «Цифровая трансформация промышленного производства», которые лягут в основу при подготовке внутренних стратегий организаций цифровой трансформации промышленного производства.

Обобщая информацию, раскрытую в настоящем исследовании, основываясь на работе Г. Г. Головенчик, С. Ю. Глазьева «Основные направления развития отечественной металлургии в разрезе мировых тенденций», подведем общий вывод:

металлургическая отрасль стоит на пороге цифровой экономики, которая является начальной фазой шестого технологического уклада в странах ЕАЭС и 4-й промышленной революции в США, ЕС и других развитых державах (рис. 7) [2, 9, 29];

«цифровая трансформация промышленности – процесс, отражающий переход промышленного сектора от одного технологического уклада к другому посредством широкомасштабного использования цифровых и информационно-коммуникационных технологий с целью повышения эффективности и конкурентоспособности» [24].

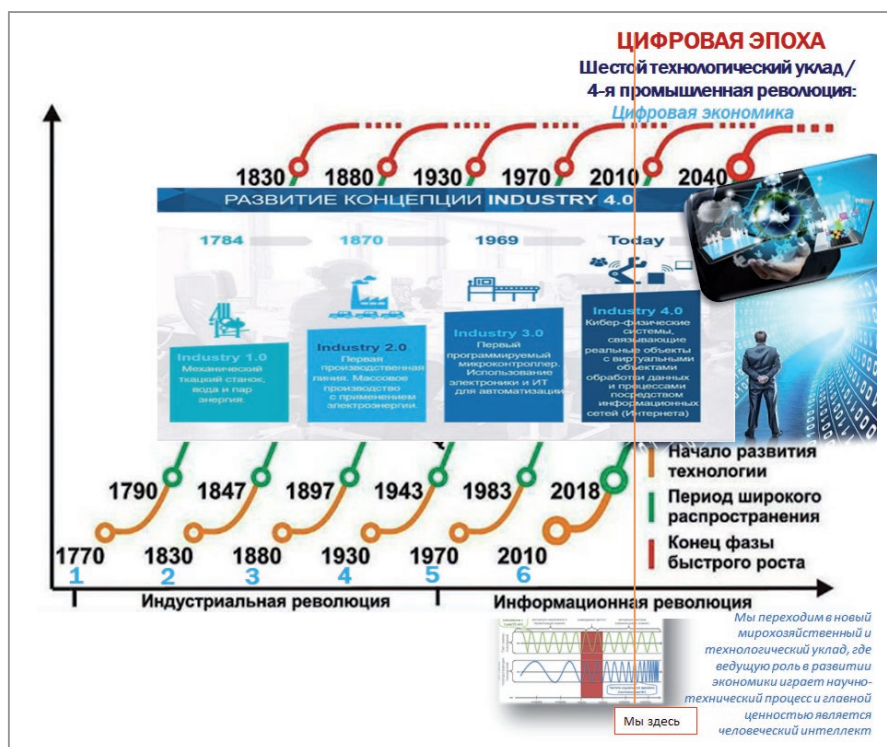


Рис. 7. Факторы цифровой трансформации промышленного производства
Источник: собственная разработка на основе [1, 4, 9]

Результаты выполненных исследований в определенной мере являются справкой по направлению цифровой трансформации промышленного производства и могут быть полезны для повышения осведомленности руководителей, специалистов промышленных предприятий о концептуальных основаниях цифровой трансформации промышленного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровая экономика, умные инновации и технологии: сб. трудов Нац. (Всерос.) науч.-практ. конф. с зарубежным участием. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 657 с.
2. Основные направления развития отечественной металлургии в разрезе мировых тенденций / Н. И. Анелькин // Литье и металлургия. – 2023. – № 2. – С. 31–44.
3. Становление и развитие ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», или Белорусскому металлургическому заводу – 40 лет: современный взгляд в прошлое, настоящее и будущее / С. А. Мозгов [и др.] // Литье и металлургия. – 2024. – № 4. – С. 33–46.
4. Исследование: Шестой технологический уклад. Циклы Кондратьева. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://irsepi.ru/shestoj-tehnologicheskij-uklad/?ysclid=lgdbl6u79857020339> (дата доступа: 06.08.2025).
5. Полеванов, В. П. XXI век: новые технологии и полезные ископаемые / В. П. Полеванов // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 7-й Междунар. конф. – М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2024. – С. 180–192.
6. Концепция национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsiya-na-sajt.pdf> (дата доступа: 04.08.2025).
7. Маркова, В. Д. Цифровая экономика: учебник / В. Д. Маркова. – М.: ИНФРА-М., 2024. – 186 с.
8. Лазаревич, А. А. Цифровая эпоха и контуры новой социотехнологической реальности / А. А. Лазаревич // Наука и инновации. – 2023. – № 4. – С. 5–8.
9. Головенчик, Г. Г. Цифровая экономика / Г. Г. Головенчик, М. М. Ковалев. – Минск: Изд. центр БГУ, 2019. – 395 с.
10. Головенчик, Г. Г. Цифровизация белорусской экономики в современных условиях глобализации / Г. Г. Головенчик. – Минск: Изд. центр БГУ, 2019. – 257 с.
11. Петров, А. А. Цифровая экономика: вызов России на глобальных рынках / А. А. Петров // Торговая политика. – 2017. – № 3. – С. 46–74.
12. «Индустрия 4.0»: создание цифрового предприятия. Всемирный обзор реализации концепции «Индустрия 4.0» за 2016 год. – PwC, 2016.
13. Исследование «Индекс зрелости Индустрии 4.0» [Электронный ресурс] / Г. Шу [и др.]. – Режим доступа: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_rus_Maturity_Index_WEB-1.pdf/ (дата доступа: 14.06.2025).
14. Головенчик, Г. Г. Цифровая трансформация промышленности в ЕАЭС: использования зарубежного опыта / Г. Г. Головенчик, В. Ю. Большун // Экономика. Управление. Инновации. – 2020. – № 1. – С. 18–22.
15. Перспективы развития «Интернета вещей» в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itpss.ru/docs/surveys/20170316-PwC-Internet-of-Things-Rus.pdf> (дата доступа: 26.01.2026).

16. Убушиев, Э.В. Экономическая безопасность в различных технологических укладах / Э.В. Убушиев // Теоретическая и прикладная экономика. – 2018. – № 3. – С. 1–21.
17. Глазьев, С.Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития / С.Ю. Глазьев. – М.: ВлаДар, 1993. – 310 с.
18. Глазьев, С.Ю. О неравномерности современного экономического роста как процесса развития и смены технологических укладов / С.Ю. Глазьев // Социология. – 2013. – № 4. – С. 42–52.
19. Методические рекомендации по отнесению технологий к V и VI технологическим укладам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gknt.gov.by/upload/iblock/Prikaz-166.pdf>. (дата доступа: 15.09.2025).
20. Иансати, М. Вездесущая «цифра» / М. Иансати, К. Лакхани // Harvard Business Review – Россия. – 2014. – Декабрь. – С. 74.
21. Лазаревич, А.А. Трансформация идеи технологического детерминизма в цифровую эпоху / А.А. Лазаревич // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 6-й Междунар. конф. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2023. – С. 288–295.
22. Мясникова, О.В. Развитие производственно-логистических систем: теория, методология и механизмы цифровой трансформации / О.В. Мясникова. – Минск: Институт бизнеса БГУ, 2021. – 267 с.
23. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-razvitiya-respubliki-belarus-na-period-do-2040-goda.pdf>. (дата доступа: 15.09.2025).
24. О Концепции создания условий для цифровой трансформации промышленного сотрудничества в рамках Евразийского экономического союза и цифровой трансформации промышленности государств – членов Союза: Рекомендация Совета Евразийской Экономической Комиссии от 05.12.2018 № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=F01800405> (дата доступа: 02.12.2025).
25. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bsuir.by/> (дата доступа: 12.07.2025).
26. Головенчик, Г.Г. Становление и развитие цифровой экономики в современных условиях глобализации: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.14 / Г.Г. Головенчик. – Минск, 2019. – 247 с.
27. Лазаревич, А.А. Социотехномир: тенденции формирования и неопределенность будущего / А.А. Лазаревич // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 7-й Междунар. конф. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2024. – С. 338–344.
28. Глазьев: стратегию формирования единого информпространства мы должны представить до конца года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belta.by/society/view/glazjev-strategiju-formirovanija-edinogo-informprostranstva-my-dolzny-predstavit-do-kontsa-goda-725775-2025/> (дата доступа: 12.07.2025).

REFERENCES

1. *Cifrovaya ekonomika, umnye innovacii i tekhnologii: sb. trudov Nac. (Vseros.) nauch.-prakt. konf. s zarubezhnym uchastiem* [Digital economy, smart innovations and technologies: collected papers of the National (All-Russian) scientific and practical conference with foreign participation]. St. Petersburg, POLYTECH-PRESS Publ., 2021, 657 p.
2. Anelkin N. I., Mantsevich A. V., Voitekховsky D. G., Mozgov S. A. Osnovnye napravleniya razvitiya otechestvennoj metallurgii v razreze mirovyyh tendenciy [The main directions of national metallurgy development in the context of global trends]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2023, № 2, pp. 31–44.
3. Mozgov S. A., Anelkin N. I., Mantsevich A. V., Voytekховsky D. G. Stanovlenie i razvitie OAO «BMZ – upravlyayushchaya kompaniya holdinga «BMK», ili Belorusskomu metallurgicheskomu zavodu – 40 let: sovremennyy vzglyad v proshloe, nastoyashchee i budushchee [The formation and development of OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”, or 40 years of the Belarusian steel works: a modern view into the past, present and future]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 4, pp. 33–46.
4. *Issledovanie: Shestoj tekhnologicheskij ukhad. Cikly Kondrat'eva* [Research: The Sixth Technological Order. Kondratiev Cycles] [Electronic resource]. Access mode: <http://irsepi.ru/shestoj-tekhnologicheskij-ukhad/?ysclid=lgdblr6u79857020339> (accessed 06.08.2025).
5. Polevanov V. P. XXI vek: novye tekhnologii i poleznye iskopaemye [21st century: new technologies and minerals]. *Proektirovanie budushchego. Problemy cifrovoy real'nosti: trudy 7-j Mezhdunar. konf. = Designing the future. Problems of digital reality: Proceedings of the 7th Int. Conf.* Moscow, Keldysh Institute of Applied Mathematics Publ., 2024, pp. 180–192.
6. *Koncepciya nacional'noj strategii ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus' na period do 2035 goda* [Concept of the National Strategy for Sustainable Development of the Republic of Belarus for the Period up to 2035] [Electronic resource]. Access mode: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsija-na-sajt.pdf> (accessed 04.08.2025).
7. Markova V. D. *Cifrovaya ekonomika: uchebnik* [Digital economy: textbook]. – Moscow, INFRA-M., 2024, 186 p.
8. Lazarevich A. A. Cifrovaya epoha i kontury novoy sociotekhnologicheskoy real'nosti [The digital era and the contours of the new sociotechnological reality]. *Nauka i innovacii = Science and Innovation*, 2023, no. 4, pp. 5–8.
9. Golovenchik G. G., Kovalev M. M. *Cifrovaya ekonomika* [Digital Economy]. Minsk, Izd. centr BGU Publ., 2019, 395 p.
10. Golovenchik G. G. *Cifrovizatsiya belorusskoj ekonomiki v sovremennykh usloviyakh globalizatsii* [Digitalization of the Belarusian economy in the modern conditions of globalization]. Minsk, Izd. centr BGU Publ., 2019, 257 p.
11. Petrov A. A. Cifrovaya ekonomika: vyzov Rossii na global'nyh rynkakh [Digital Economy: Russia's Challenge in Global Markets]. *Torgovaya politika = Trade Policy*, 2017, no. 3, pp. 46–74.
12. «Industriya 4.0»: sozdanie cifrovogo predpriyatiya. *Vsemirnyy obzor realizatsii koncepcii «Industriya 4.0» za 2016 god* [Industry 4.0: Creating the Digital Enterprise. A Global Overview of Industry 4.0 Implementation in 2016]. – PwC, 2016.
13. Shu G., Anderl R., Gausemeyer J. [et al.] *Issledovanie «Indeks zrelosti Industrii 4.0»* [Study “Maturity Index of Industry 4.0”] [Electronic resource]. Access mode: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_rus_Maturity_Index_WEB-1.pdf (accessed 14.06.2025).

14. **Golovenchik G. G., Bolshun V. Yu.** Cifrovaya transformaciya promyshlennosti v EAES: ispol'zovaniya zarubezhnogo opyta [Digital transformation of industry in the EAEU: using foreign experience]. *Ekonomika. Upravlenie. Innovacii = Economy. Management. Innovations*, 2020, № 1, pp. 18–22.
15. *Perspektivy razvitiya «Interneta veshchej» v Rossii* [Prospects for the Development of the Internet of Things in Russia] [Electronic resource]. Access mode: <https://itpss.ru/docs/surveys/20170316-PwC-Internet-of-Things-Rus.pdf> (accessed 26.01.2026).
16. **Ubushiev E. V.** Ekonomicheskaya bezopasnost' v razlichnyh tekhnologicheskikh ukladah [Economic Security in Various Technological Structures]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekonomika = Theoretical and Applied Economics*, 2018, no. 3, pp. 1–21.
17. **Glazyev S. Yu.** *Teoriya dolgosrochnogo tekhniko-ekonomicheskogo razvitiya* [Theory of Long-Term Techno-Economic Development]. Moscow, VlaDar Publ., 1993, 310 p.
18. **Glazyev S. Yu.** O neravnomernosti sovremennoogo ekonomicheskogo rosta kak processa razvitiya i smeny tekhnologicheskikh ukladov [On the unevenness of modern economic growth as a process of development and change of technological structures]. *Sociologiya = Sociology*, 2013, no. 4, pp. 42–52.
19. *Metodicheskie rekomendacii po otneseniyu tekhnologij k V i VI tekhnologicheskim ukladam* [Methodological recommendations for classifying technologies into the 5th and 6th technological paradigms] [Electronic resource]. Access mode: https://www.gknt.gov.by/upload/iblock/Prikaz_-166.pdf. (accessed 15.09.2025).
20. **Iansati M., Lakhani K.** Vezdesushchaya «cifra» [The Ubiquitous Digital]. *Harvard Business Review – Rossiya = Harvard Business Review – Russia*, 2014, December, p. 74.
21. **Lazarevich A. A.** Transformaciya idei tekhnologicheskogo determinizma v cifrovuyu epohu [Transformation of the idea of technological determinism in the digital age]. *Proektirovanie budushchego. Problemy cifrovoj real'nosti: trudy 6-j Mezhdunar. konf. = Designing the future. Problems of digital reality: proceedings of the 6th International conference*. Moscow, Keldysh Institute of Applied Mathematics Publ., 2023, pp. 288–295.
22. **Myasnikova O. V.** *Razvitie proizvodstvenno-logisticheskikh sistem: teoriya, metodologiya i mekhanizmy cifrovoj transformacii* [Development of production and logistics systems: theory, methodology and mechanisms of digital transformation]. Minsk, Institut biznesa BGU Publ., 2021, 267 p.
23. *Nacional'naya strategiya ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus' na period do 2040 goda* [National Strategy for Sustainable Development of the Republic of Belarus through 2040] [Electronic resource]. Access mode: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-razvitiya-respubliki-belarus-na-period-do-2040-goda.pdf>. (accessed 15.09.2025).
24. *O Koncepcii sozdaniya uslovij dlya cifrovoj transformacii promyshlennogo sotrudnichestva v ramkah Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza i cifrovoj transformacii promyshlennosti gosudarstv – chlenov Soyuz: Rekomendaciya Soveta Evrazijskoj Ekonomicheskoy Komissii ot 05.12.2018 № 1* [On the Concept for Creating Conditions for the Digital Transformation of Industrial Cooperation within the Eurasian Economic Union and the Digital Transformation of Industry in the Union Member States: Recommendation of the Council of the Eurasian Economic Commission of 05.12.2018 No. 1] [Electronic resource]. Access mode: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=F01800405> (accessed 02.12.2025).
25. *Belorusskij gosudarstvennyj universitet informatiki i radioelektroniki* [Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics] [Electronic resource]. Access mode: <https://www.bsuir.by/> (accessed 12.07.2025).
26. **Golovenchik G. G.** *Stanovlenie i razvitie cifrovoj ekonomiki v sovremennyh usloviyah globalizacii: dis. ... kand. ekon. nauk: 08.00.14* [Formation and development of the digital economy in the modern conditions of globalization: dis. ... Cand. of Economics: 08.00.14]. Minsk, 2019, 247 p.
27. **Lazarevich A. A.** Sociotekhnomir: tendencii formirovaniya i neopredelennost' budushchego [Socio-technoworld: trends in formation and uncertainty of the future]. *Proektirovanie budushchego. Problemy cifrovoj real'nosti: trudy 7-j Mezhdunar. konf. = Designing the Future. Problems of Digital Reality: Proceedings of the 7th International Conference*. Moscow, Keldysh Institute of Applied Mathematics Publ., 2024, pp. 338–344.
28. *Glazyev: strategiyu formirovaniya edinogo informprostranstva my dolzhny predstavit' do konca goda* [Glazyev: We must present a strategy for creating a unified information space by the end of the year] [Electronic resource]. Access mode: <https://belta.by/society/view/glazyev-strategiju-formirovaniya-edinogo-informprostranstva-my-dolzhny-predstavit-do-kontsa-goda-725775-2025/> (accessed 12.07.2025).