

6. Zheltkov A.S., Savenok A.N., Ezhov V.V., Filippov V.V. *Sposob izgotovlenija vysokoprochnoj stal'noj provoloki* [Method for manufacturing high-strength steel wire]. Patent BY 6035, 30.03.2004.
7. Zheltkov A.S., Filippov V.V. *Sposob izgotovlenija vysokoprochnoj stal'noj provoloki s povyshennoj plastichnost'ju pri skruchivanii* [Method for manufacturing high-strength steel wire with increased ductility during twisting]. Patent BY 6487, 30.09.2004.
8. Daition V., Hamada T. Mikrostruktura sil'nodeformirovannoj vysokouglerodistoj provoloki [Microstructure of highly deformed high carbon wire]. *Journal of Iron and Steel Institute of Japan*, 2000, vol. 86, no. 2, pp. 105–110.
9. Ignatenko O.I., Shamanovskaja E. V. Jefferktivnost' ispol'zovanija stalej, mikrolegirovannyh hromom, v metiznom proizvodstve v uslovijah RUP «BMZ» [Efficiency of using steels microalloyed with chromium in hardware production in the conditions of RUE «BMZ»]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 3 (47), pp. 89–91.
10. Babich V.K., Pirogov V.A., Fetisov V.P. Deformacionnoe starenie holodnodeformirovannoj provoloki [Deformation aging of cold-formed wire]. *Chermetinformacija = Chermetinformation*, 1977, 9 p.
11. Fetisov V.P. Strukturnye aspekty snizhenija plastichnosti vysokoprochnoj provoloki pri bol'shikh summarnyh obzhatijah [Structural aspects of the reduction of ductility of high-strength wire at large total compressions]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 4 (68), pp. 107–109.
12. Kazuhiko K. Production Technology of Wire Rod for High Tensile Strength Steel Cord. *Wire Rod Production Department, Kakogawa Works, Iron & Steel Business Kobelco technology review*, 2011, no. 30.
13. Stoljarov A. Ju. *Razrabotka konkurentosposobnoj tehnologii proizvodstva provoloki vysokoj prochnosti dlja armirovanija avtomobil'nyh shin* [Development of a competitive technology for the production of high-strength wire for reinforcing automobile tires]. avtoref. dis... kand. tehn. nauk [Abstract of Cand. Sci. Diss.]. Magnitogorsk, MGTU im. G.I. Nosova Publ., 2013, 16 p.
14. Vedeneev A. V. *Novye napravlenija v razvitii metallokorda* [New directions in the development of metal cord]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2004, no. 3 (31), pp. 162–165.



УДК 338.27

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА – КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВАНИЯ

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.

Период исследования: июнь 2019 г. – август 2025 г.

Цель работы – провести теоретические исследования научно-технической информации, направленные на получение комплексных знаний по промышленно-технологической парадигме в XXI веке, выявить предпосылки цифровой трансформации, определить ее концепцию и контуры, взаимосвязь, технологии 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.

Рассмотрен механизм формирования и обозначены технологии шестого технологического уклада, актуальные для 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.*

DIGITAL TRANSFORMATION OF INDUSTRIAL PRODUCTION – CONCEPTUAL FOUNDATIONS

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.

Study period: June, 2019 – August, 2025.

The purpose of the work: to conduct theoretical research of scientific and technical information aimed at obtaining comprehensive knowledge on the industrial and technological paradigm in the 21st century – to identify the prerequisites for digital transformation; to define its concept and contours, interrelationships, technologies 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.

The mechanism of formation is considered and technologies of the sixth technological paradigm, relevant for digital transformation of industrial production, are identified.

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.*

Введение

С началом четвертой промышленной революции сочетание производства и цифровой экономики стало важным направлением глобального экономического развития, а цифровая трансформация предприятий – неизбежной тенденцией [1].

В 2023–2024 гг. ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» актуализировало основные направления развития отечественной металлургии в разрезе мировых тенденций. 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 застает переход к новому технологическому укладу (далее – ТУ). Обновление техносферы упирается в психологические способности человека осваивать новую информацию.

В настоящее время глобальные изменения сопровождаются развитием принципиально новых бизнес-процессов, переходом к комплексному построению цифровых экосистем на основе формирования киберфизических систем, создания цифровых платформ и цифровых двойников. 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 и коренным образом преобразует компании и их бизнес-процессы на базе интернета и новых цифровых технологий.

Стратегический вектор развития государства определяется глобальными тенденциями, исторической динамикой, текущим уровнем социально-экономического развития, его философией и целями. 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: БГУИР является ведущим вузом в отрасли и одной из лучших школ программирования для промышленности; наличие среды резидентов Парка высоких технологий, занимающих ключевые позиции на рынке цифровой трансформации производств; Беларусь является участником международных организаций (Международный союз электросвязи); наша страна активно развивает цифровую инфраструктуру и внедряет государственные услуги в электронном виде; в стране уделяется внимание подготовке квалифицированных кадров для IT-отрасли. В Республике Беларусь 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.

Концептуальные основания цифровой эпохи – 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 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 [6].

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).

Изменения последних лет позволяют утверждать, что начинается новый этап информатизации, название которому цифровая экономика. Новые цифровые технологии качественным образом трансформируют все сферы жизнедеятельности человека – политику и экономику, образование и науку, бизнес и средства массовой информации, медицину и культуру.

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 [10].

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

Активная социотехнологическая 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 [9].

Четвертая промышленная революция – новая промышленная концепция

Концепция цифровой трансформации промышленного производства строится на новой терминологии, 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.

В промышленности изменения технологий и бизнес-процессов под влиянием цифровой экономики назвали четвертой промышленной революцией (Индустрия 4.0) – умная (цифровая) автоматизация. Акцент на оцифровывании всех активов и всех процессов и их интеграции в цифровые экосистемы, куда вовлекаются клиенты и партнеры.

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. Концепция «промышленного интернета вещей» (Industrial Internet) появилась в США, а в Европе – Индустрии 4.0. Идентичные программы реализуются в Японии – «Connected Factories», Китае – «Сделано в Китае 2025», «Интернет+», Южной Корее и т.д., что повышает конкурентоспособность субъектов реального сектора. Индустрия 4.0 как стратегический план развития экономики предусматривает масштабное 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.

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 [10].

Концепция Industry 4.0 подразумевает переход производства в формат цифрового, которое будет управляться различными интеллектуальными системами. В соответствии с концепцией Industry 4.0, а именно с ее компонентом IoT, управление устройствами производственных линий осуществляется удаленно, а данные из таких систем поступают в облако.

Концепция Индустрия 4.0 умных производственных систем тесно связана с цифровыми технологиями (рис. 1).



Рис. 1. Концепция Индустрия 4.0 и соответствующие цифровые технологии [7]

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].

Результаты научных исследований мирового опыта цифровой трансформации экономики позволяют сделать вывод, что 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 [1].

Механизм формирования технологических укладов и их взаимосвязь с промышленными революциями

Каждому ТУ присущи свои доминирующие технологии, которые составляют его ядро. Смена ТУ требует соответствующих изменений в институциональной и социальной системах, которые способствуют массовому внедрению технологий нового технологического уклада и соответствующих ему типов потребления и образа жизни. Далее происходит стремительное распространение нового уклада, который начинает занимать доминирующее положение в хозяйственной структуре и становится основой экономического роста. 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 [5].

Экономическая система любой страны всегда функционирует на базе нескольких ТУ.

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) [7, с. 32–33].

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. Так, на временной шкале 2010–2060 гг. цифровая трансформация промышленного производства, цифровая экономика есть начальная фаза шестого ТУ, называемые так в странах ЕАЭС, и 4-й промышленной революции, обозначаемую в странах США, ЕС термином Индустрия 4.0 (рис. 2).

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. Четвертая промышленная революция, цифровизация – это драйвер научно-технического прогресса промышленности в XXI веке. 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.

Технологии V и VI ТУ определены методическими рекомендациями по отнесению технологий к V и VI технологическим укладам, утвержденными приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 06.06.2017 № 166.

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.

На экспертном уровне также 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.

Так, металлургическая отрасль стоит на пороге цифровой экономики, которая является начальной фазой шестого технологического уклада и 4-й промышленной революции (рис. 2).

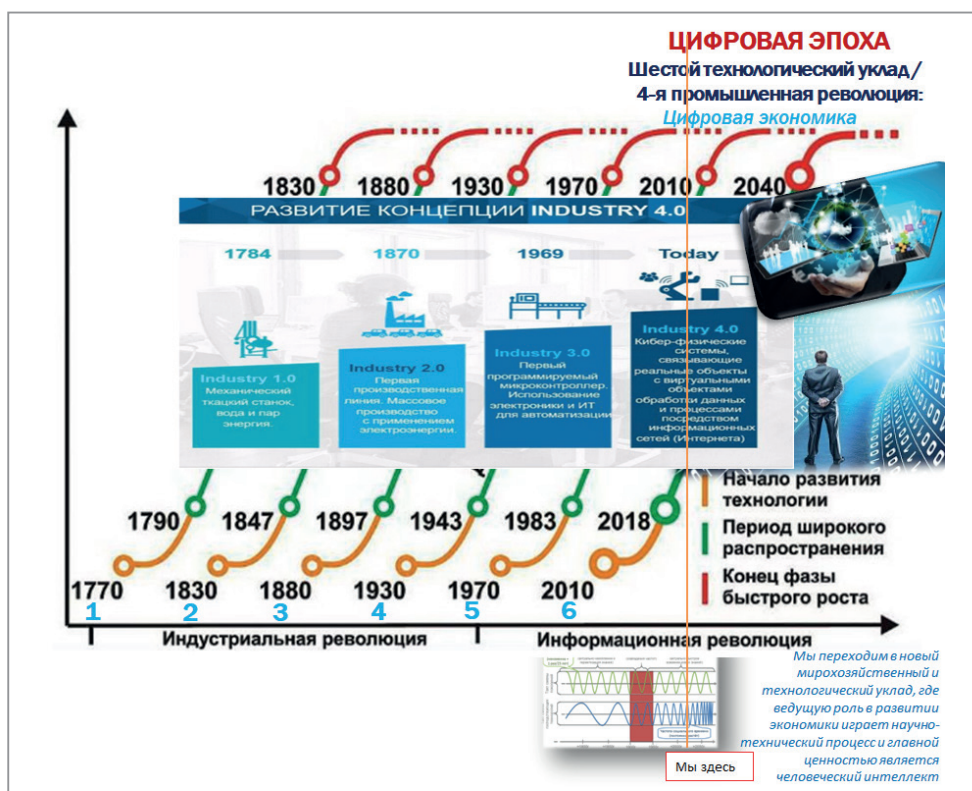


Рис. 2. Концептуальные основания цифровой трансформации в промышленности