

Масштабы и тенденции цифровой трансформации мировой промышленности

Смирнов Евгений Николаевич

Д-р экон. наук, зам. зав. каф. мировой экономики и международных экономических отношений
ORCID: 0000-0002-9325-7504, e-mail: smirnov_en@mail.ru

Антропова Марина Юрьевна

Ассистент каф. мировой экономики и международных экономических отношений
ORCID: 0000-0003-4592-6782, e-mail: marinaantropova-inime@mail.ru

Государственный университет управления, г. Москва, Россия

Аннотация

Влияние, которое оказывает цифровая трансформация в производстве на предприятия, поставщиков и других третьих лиц, значительно возросло в настоящее время. Цифровая трансформация в производстве означает совершенствование традиционных производственных процессов с помощью цифровых технологий. Цель цифровой трансформации заключается в повышении эффективности производства и снижении затрат, повышении качества производимых товаров и услуг, быстрой адаптации к изменениям на мировом рынке. Состояние промышленного производства постоянно меняется из-за нестабильности глобальных, экономических и политических решений, поэтому внедрение и расширение цифровых решений на основе Индустрии 4.0, интернета вещей, машинного обучения и других технологий будущего ускоряется. С помощью данных технологий промышленные компании стараются изменить подходы и найти новые способы решения проблем. Как показывает практика, горно-металлургические компании отстают от остальных отраслей промышленности в области цифровой трансформации, хотя имеют большой потенциал. Это отставание объясняется в основном рисками, связанными с трансформацией и развитием новых цифровых технологий производства, в то время как можно придерживаться традиционных и проверенных методов работы.

Ключевые слова

Цифровая трансформация, Индустрия 4.0, мировая промышленность, робототехника, фабрики будущего, искусственный интеллект

Для цитирования: Смирнов Е.Н., Антропова М.Ю. Масштабы и тенденции цифровой трансформации мировой промышленности // Вестник университета. 2022. № 5. С. 53–60.



Scope and trends of the digital transformation in the world industry

Evgeny N. Smirnov

Dr. Sci. (Econ.), Deputy Head of the World Economy and International Economic Relations Department
ORCID: 0000-0002-9325-7504, e-mail: smirnov_en@mail.ru

Marina Yu. Antropova

Assistant at the World Economy and International Economic Relations Department
ORCID: 0000-0003-4592-6782, e-mail: marinaantropova-inime@mail.ru

State University of Management, Moscow, Russia

Abstract

The impact that the digital transformation in manufacturing has on businesses, suppliers and other third parties has increased significantly now. Digital transformation in manufacturing means improving traditional manufacturing processes with the help of digital technologies. The goal of digital transformation is to increase production efficiency and reduce costs, improve the quality of goods and services produced, and quickly adapt to changes in the global market. The state of industrial production is constantly changing due to the instability of global, economic and political decisions, so the adoption and expansion of digital solutions based on Industry 4.0, the Internet of things, machine learning and other technologies of the future is accelerating. With the help of these technologies, industrial companies are trying to change approaches and find new ways to solve problems. As practice shows, mining and metallurgical companies lag behind other industries in the field of digital transformation, although they have great potential. This lag behind mainly due to the risks associated with the transformation and development of new digital production technologies, while it is possible to adhere to traditional and proven methods of work.

Keywords

Digital transformation, Industry 4.0, global industry, robotics, factories of the future, artificial intelligence

For citation: Smirnov E.N., Antropova M.Yu. (2022) Scope and trends of the digital transformation in the world industry. *Vestnik universiteta*, no. 5, pp. 53–60.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая трансформация промышленности является определяющим направлением развития мировой экономики. Само понятие цифровой трансформации очень многогранно, и конкретного определения не существует, однако главным ее отличительным признаком являются качественные изменения в формировании бизнес-моделей и работе производственных процессов, порождающие значительный социэкономический эффект от их реализации в результате внедрения цифровых технологий.

Глобальный рынок цифровой трансформации достиг в 2021 г. объема в 521,5 млрд долл. США и, как ожидается, достигнет 1247,5 млрд долл. США к 2026 г. при совокупном годовом темпе роста 19,1 % в течение 2021–2026 гг. Благодаря исследовательским данным, в 2021–2026 гг. ожидается увеличение глобального рынка технологий «Индустрии 4.0» с 64,9 до 165,5 млрд долл. США при среднегодовом темпе роста в 20,6 %. В свою очередь, такой сегмент, как рынок «умного производства» вырастет за указанный период с 214,7 до 384,8 млрд долл. США при среднегодовом темпе роста 12,4 % [1].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В основе цифровой трансформации мировой промышленности лежат концепции «Индустрия 4.0» и «фабрика будущего», основная идея которых заключается в цифровизации на протяжении всего производственного цикла (от проектирования до утилизации). Эти концепции отражают развитие большинства новых технологий современного мира: аддитивного производства, интернета вещей, робототехники, искусственного интеллекта и др.

Переход к Индустрии 4.0 привел к появлению множества приложений на основе интернета вещей в промышленном пространстве. Фактически Индустрию 4.0 можно считать основополагающей тенденцией, комбинирующей традиционные производственные и промышленные предприятия с цифровыми технологиями [2].

С появлением Индустрии 4.0 в обрабатывающей промышленности различные предприятия внедряют цифровые технологии с целью улучшения, автоматизации и модернизации производственного процесса. Значение интеграции различных технологий цифровой трансформации, к примеру, интернет вещей, существенно актуализируется, поскольку это обеспечивает исключительные преимущества в работе производственных процессов. Кроме того, цифровая трансформация помогает организациям улучшить свою репутацию, а также качество обслуживания клиентов за счет внедрения программного обеспечения [3]. Промышленные организации, внедрившие в производственный процесс цифровые технологии, могут успешно адаптироваться к меняющемуся технологическому ландшафту и справляться с внезапными изменениями в отрасли. Новые технологии значительно упростили обработку больших массивов данных (англ. big data). С помощью новых интеллектуальных инструментов производственные организации проводят интеллектуальный анализ и прогнозную аналитику. Бизнес-модели, основанные на технологии больших массивов данных, увеличивают доходы и рентабельность ключевых промышленных корпораций. В скором времени среди используемых производственными предприятиями новых технологий искусственный интеллект будет играть главную роль, поскольку, например, он все больше используется для повышения безопасности на заводах путем обеспечения профилактического обслуживания, однако число несчастных случаев также растет. В связи с этим «умные камеры» на основе искусственного интеллекта используются для доступа в зону риска с целью уменьшения масштабов потенциального ущерба.

АНАЛИЗ ТРЕНДОВ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МИРОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Главной тенденцией цифровой трансформации в мировой промышленности является значительный рост промышленной робототехники на производственных предприятиях. Ожидается, что объем мирового рынка промышленных роботов достигнет 81,4 млрд долл. США к 2028 г. при среднем показателе ежегодного роста 16,6 %. В настоящее время объем мирового рынка промышленной робототехники составляет 16 млрд долл. США, при этом 74 % продаж роботов приходится на пять стран: Китай, Японию, США, Южную Корею и Германию (см. табл. 1) [4].

Ежегодные установки промышленных роботов ведущими странами мира

Страна	Количество, ед.										
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Китай	15	23	23	37	57	69	97	156	154	140	168
Япония	22	28	29	25	29	35	39	46	55	50	39
США	16	21	22	24	26	28	31	33	40	33	31
Южная Корея	24	26	19	21	25	38	41	40	38	33	31
Германия	14	20	18	18	20	20	20	21	27	22	22

Составлено авторами по материалам источника [4]

Новая промышленная революция привела к появлению диверсифицированной номенклатуры робототехники (роботы SCARA, одноосные роботы с поддержкой искусственного интеллекта и недавно разработанные экзоскелеты). Это позволило промышленным предприятиям использовать роботов для оптимизации многих процессов, повышения эффективности и устранения ошибок в производстве. Повышение безопасности на рабочих местах и улучшение производственных возможностей еще больше подтолкнули обрабатывающие отрасли к инвестициям в роботизированные технологии. Этот аспект отражает трансформационный переход к новому типу транснациональных компаний в мировой промышленности, не существовавших в традиционной экономике [5].

Быстро меняющиеся требования мирового рынка и динамичное развитие информационных технологий вносят значительный вклад в цифровую трансформацию. В настоящее время робототехника играет большую роль в автоматизации промышленности, поскольку роботы управляют многими операциями на этапах производства товара. В связи с возросшим спросом в разных странах, производители внедряют роботов для автоматизации повторяющихся процессов. Рост автомобильного сектора в значительной степени обуславливает огромный рост внедрения промышленной робототехники. Крупные международные корпорации возвращают производства в Европу и США (этот процесс получил название «решоринг») благодаря повышенной роботизации производственных процессов. В развивающихся странах происходит сокращение рабочих мест, а в развитых открываются роботизированные предприятия. Это приводит к росту конкуренции между развитыми и развивающимися странами в рамках глобальных цепочек создания стоимости. Главным фактором решоринга в настоящее время является автоматизация и роботизация производства, которые выводят его на совершенно новый уровень международной конкуренции во всей мировой промышленности. Цифровизация вкупе с автоматизацией производства постепенно приводят развивающиеся страны к потере их главного конкурентного преимущества в прошлом – дешевой рабочей силы. Транснациональным корпорациям становится выгодней вернуть производство обратно в свою страну, так как роботы работают быстрее, эффективнее и дешевле людей. Это касается не только США, но и стран Европы. Решоринг происходит в тех отраслях производства, которые более чувствительны к технологиям роботизации и автоматизации (а именно в производстве автомобилей и комплектующих, бытовых электроприборов, текстиля и одежды [6]).

Роботизация становится наиболее используемым методом комплексной автоматизации производства. Принято ошибочно считать, что роботы используются в крупном производстве. Однако небольшие компании также используют промышленных роботов в силу ряда преимуществ, таких как: качественная работа с учетом минимизации человеческого фактора, быстрая окупаемость, сокращение издержек, высокая работоспособность и скорость производства, минимизация общего процента брака, легкая настройка и перенастройка. Роботы предназначены для выполнения повторяющихся задач и избавления рабочих от тяжелого физического труда. Иными словами, переход к роботизации означает новый этап научно-технического прогресса, ставшего ключевым трендом развития мировой промышленности в послевоенные десятилетия [7].

В настоящее время промышленные роботы находят свое применение в производственных операциях, которые можно разделить на три группы: погрузочно-разгрузочные работы, обработка, сборка и контроль. Вместе с погрузкой/разгрузкой материалов на станок или конвейер производится транспортировка деталей и материалов (перемещение) по заводу. Также роботы могут, к примеру, размещать детали

на поддонах в порядке, рассчитанным им самим. В операциях по обработке робот владеет управлением каким-то одним инструментом (при окрашивании, точечной сварке, непрерывной дуговой сварке и т.д.). Например, в США промышленные роботы применяются для точечной сварки автомобильных кузовов. Помимо автомобильной отрасли, промышленные роботы нашли свое применение в медицинской, пищевой, металлургической и многих других отраслях [4].

Пандемия COVID-19 оказала негативное воздействие на большинство отраслей мировой промышленности, сильнее всех пострадали сектора электроники, автомобиле- и самолетостроения. В частности, проблема была связана с доступностью сырья и комплектующих из-за закрытия заводов в Китае, на который приходится около 85 % от общей стоимости производимых компонентов для смартфонов и 75 % – для телевизоров. Китай также обеспечивает огромную долю мирового рынка компонентов, необходимых для автомобильной, фармацевтической отраслей. Закрытие заводов в Китае отрицательно сказалось на данных секторах в силу резкого повышения цен на комплектующие. Отсюда возникла угроза потенциального долговременного нарушения цепочек поставок. Европейские компании по производству автомобилей и электроники также минимизировали выпуск продукции в пандемию, что привело к убыткам для мировой торговли в целом. Из-за прекращения авиасообщения между странами мира во время пандемии пострадал сектор самолетостроения. Во время пандемии все отрасли промышленности столкнулись с такими проблемами, как падение спроса, ограничение предложения, закрытие заводов, нехватка персонала, сбои в глобальной цепочке поставок. Металлургическая отрасль также пострадала в силу падения спроса на металлы, однако быстро восстановилась, так как в отличие от стали, цветные металлы являются биржевым товаром, что позитивно отражается на сбытовой деятельности [8].

В свою очередь, пандемия дала толчок к росту технологий автоматизации для многих крупнейших транснациональных компаний. Внедрение робототехники, промышленное использование интернета вещей помогли снизить участие рабочих в производственных циклах. Например, после вспышки пандемии COVID-19 фармацевтической отрасли пришлось менять свои процессы производства, чтобы быстро реагировать на возникающие сбои и вызовы в области здравоохранения. Таким образом, автоматизация была одним из основных способов, с помощью которых компании в этой отрасли смогли соответствовать требуемым производственным требованиям и соблюдать принципы социального дистанцирования. В результате этих изменений в фармацевтической промышленности наблюдался самый высокий рост робототехники в 2020–2021 гг. Количество новых заказов на роботов выросло на 69 % в годовом исчислении. Автомобильная промышленность впервые разработала решения для интеллектуальных заводов, использующие промышленных роботов на сборочных линиях, которые доминировали в традиционном автомобильном производстве более ста лет. Будущее принадлежит сетевому взаимодействию роботов и автономных мобильных роботов. Когда модели полностью меняются, необходимо только перепрограммировать роботов и оборудование, а не демонтировать всю производственную линию. Широкое внедрение роботов происходит также в производственных секторах, которые совсем недавно перешли на автоматизацию (производство продуктов питания и напитков, текстиля, изделий из дерева и пластмассы). Продолжающаяся цифровая трансформация приведет к совершенно новым бизнес-моделям, поскольку производителям будет легче диверсифицировать свою деятельность, чем когда-либо.

Роботы помогают обезопасить цепочки поставок. Ситуация с пандемией показала слабость глобальных цепочек поставок. У производителей появилась возможность переосмыслить предложение с совершенно другой точки зрения. Когда производительность повышается за счет автоматизации, сами производители получают дополнительные возможности, которые, возможно, были недоступны в странах с высокой заработной платой, таких как: страны Европейского союза, США, Канада, Япония или Республика Корея.

В 2020 г. в мировом производстве резко возросла актуальность концепции «фабрики (заводы) будущего». Рост выпускаемой робототехники, интегрированной с искусственным интеллектом и другими процессами управления данными, все больше приводит к внедрению робототехники в производственные процессы, что обеспечивает более широкое их использование. В 2021 г. лидером по количеству «фабрик будущего» являлся Китай. Такие предприятия уровня Индустрии 4.0 являются почти полностью автоматизированными и управляются искусственным интеллектом. По официальным данным Всемирного экономического форума (ВЭФ) за 2021 г., в мире имеется 69 заводов будущего, из них на долю Китая приходится 20, страны Европейского союза – 19, США – 7, Японию – 5. В 2020 г. у Китая и Европейского союза было по 15, а у США и Японии – по 5 таких предприятий. Для того чтобы определить,

является ли конкретное предприятие заводом будущего, производится аудит всего производства: организация производственно-сбытовых цепочек, цифровизация логистики, гибкость технологий автоматизации, реализация интернета вещей и искусственного интеллекта. В Китае в 2021 г. в категорию «фабрик будущего» попали, в частности, завод Bosch Automotive Products в Сучжоу, кампус Foxconn Technology Group в Чэнду, завод электроприборов Midea Shunde в провинции Гуандун, пивоварня Tsingtao Brewery в Циндао и производство Wistron InfoComm Manufacturing в Куньшане. Эти компании являются примером для остальных транснациональных корпораций в организации своего производства, которое приносит существенные доходы и лидирующие позиции Китаю [9].

Мировой рынок цифровой трансформации промышленности сегментирован по регионам: Северная Америка, Европа, Азиатско-Тихоокеанский регион, Латинская Америка, Ближний Восток и Африка. Доминирующим регионом глобального рынка цифровой трансформации по данным на 2021 г. является Северная Америка. Однако из-за быстрой цифровизации в регионе, а также правительственных инициатив по содействию использования цифровых технологий, ожидается, что Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР) в скором времени будет занимать большую долю рынка. В частности, в данном регионе мы отмечаем следующие тренды:

- использование передовых технологий (облачные вычисления, искусственный интеллект, большие данные и аналитика, кибербезопасность, интернет вещей) привело к большим преобразованиям, тем самым стимулируя рост бизнес-экосистемы Азиатско-Тихоокеанского региона. Регион становится новой точкой доступа на рынке цифровой трансформации благодаря росту инвестиций в процесс цифровизации во всех потенциальных экономиках;

- рынок цифровой трансформации в регионе демонстрирует уверенный рост благодаря правительственным инициативам, инвестициям поставщиков и пр. Так, например, в сентябре 2021 г. правительство Японии создало так называемое Цифровое агентство для стимулирования цифровой трансформации экономики страны в рамках программы административной реформы. Этот шаг правительства положил начало комплексной цифровизации государственного сектора;

- правительства стран Азиатско-Тихоокеанского региона активно налаживают связи с крупнейшими технологическими компаниями по всему миру для продвижения цифровизации в своем регионе. К примеру, в феврале 2021 г. американская транснациональная компания Cisco сотрудничала с правительством Японии в рамках проекта по оцифровке, включающего различные вертикальные отраслевые взаимосвязи.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Переход к Индустрии 4.0 затрагивает практически все отрасли промышленности, включая горно-металлургическую, которая обсуждается нами в данной статье в качестве объекта цифровой трансформации с точки зрения оценки потенциальных возможностей и перспектив. Следует отметить, что цифровизация лежит в основе трансформации горно-металлургической промышленности. Она является частью четвертой промышленной революции и перехода к Индустрии 4.0, которая подразумевает создание интеллектуальных, например, сетевых и автоматизированных заводов (проект компании Tata Steel «Завод будущего», «Рудник будущего» корпорации Rio Tinto) [10]. Металлургические и горнодобывающие компании мира инвестируют в цифровые технологии по всей цепочке создания стоимости – от операций до закупок, продаж и маркетинга. Однако, металлургическая и горнодобывающая промышленность примерно на 30–40 % менее развита в цифровом плане, чем сопоставимые отрасли (автомобилестроение, химическая промышленность). Это является большим недостатком, особенно с учетом огромных преимуществ, которые цифровые технологии могут принести этому сектору. Ускоряя цифровую трансформацию, компании металлургической и горнодобывающей промышленности смогут повысить производительность, упростить производственные процессы, снизить затраты, улучшить добычу руды и доходность, а также снизить проблемы цепочки поставок. На производственный процесс горно-металлургических предприятий существенное влияние оказывают технологии, разработанные для повышения безопасности сотрудников и их удаления от мест повышенного риска. Сюда относятся: технологии беспилотных летательных аппаратов, робототехника и удаленные операционные центры. К примеру, у российской горно-металлургической компании (ГМК) «Норильский никель» разработан дрон, который автономно перемещается по шахте. Также, у компании запущен в работу беспилотный горный транспорт (перемещение техники автономно под управлением оператора), что повышает

безопасность работы шахт на случай аварии. Помимо того, компания реализовала проект, связанный с мероприятиями по профилактике коронавирусной инфекции с помощью робота-дезинфектора [11].

На основании подтвержденных данных и проведенного нами анализа, необходимы следующие решения для горно-металлургических компаний, которые помогут быстрее внедрить цифровые технологии в отрасль и ускорить ее цифровую трансформацию:

- необходимо сосредоточиться на потребностях компании, чтобы восполнить пробелы в реализации цифровой стратегии. У большинства горно-металлургических компаний существуют конкретные цифровые стратегии, но разрыв между стратегией и ее реализацией является значительным, особенно по сравнению с другими отраслями промышленности (например, ИТ-стратегия ГМК «Норильский никель»);
- акцент на капиталовложениях в информационные активы. Ценность данных в таких передовых цифровых отраслях, как банковское дело и розничная торговля, очевидна. Но для многих металлургических и горнодобывающих компаний инвестиции в технологии сбора данных по-прежнему рассматриваются как не более чем дополнительные расходы. Поэтому удобнее было бы совмещать традиционные модели хранения данных с новыми цифровыми платформами (защищенные облачные платформы), чтобы снизить стоимость хранения данных и увеличить скорость доступа к ним (например, китайские цифровые промышленные платформы);
- следует развивать экосистемное мышление для использования как внутренних, так и внешних партнерских отношений. Например, использование технологий «системного мышления» для создания интеллектуальных взаимосвязанных внутренних экосистем. Так, например, крупный медный рудник в Чили объединил модель машинного обучения для оптимизации извлечения меди на обогатительной фабрике с системой отслеживания минералов на руднике. Это позволяет компании корректировать операционные параметры в соответствии с различными типами кластеров полезных ископаемых, повышая тем самым извлекаемость [12];
- внедрение практики обучения и повышения квалификации в сфере цифровых технологий. Компаниям необходимо разрабатывать программы и общую политику, согласовывающие все уровни организации с цифровой стратегией: высшее руководство, менеджмент среднего звена и конкретные участки производства (например, программа «Цифровой «Норникель» в рамках ИТ-стратегии ГМК «Норильский никель»);
- инклюзивное применение цифровых технологий в деятельности компаний, предполагающее не только концентрацию их введения в производство, но и в продажи, маркетинг, закупки и цепочки поставок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования выявлено, что цифровая трансформация рассматривается как использование цифровых технологий для решения традиционных проблем. Переход от традиционных к новым бизнес-моделям упрощает производство высокотехнологичных продуктов. Цифровая трансформация помогает компаниям повысить имидж своего бренда, качество обслуживания клиентов и др. Компании, преобразованные в цифровую форму, могут гибко реагировать на изменения в отрасли (например, как в случае с пандемией COVID-19). Ведущие мировые промышленные компании различных отраслей делают акцент на капиталовложениях в технологии Индустрии 4.0 с целью улучшения качества и количества производимых товаров и услуг. Данные технологии стимулируют рост рынка цифровой трансформации в настоящее время и в перспективе. Ожидается, что размер глобального рынка цифровой трансформации в 2021–2030 гг. вырастет в среднем на 15,6 %. Быстрая цифровизация и глобальный подход к модернизации бизнес-процессов, растущая потребность в анализе больших данных в различных секторах экономики, рост предложения продуктов и услуг на мировом рынке, являются факторами, стимулирующими рост глобального рынка цифровой трансформации [13].

Глобальная цифровая трансформация стимулирует и ускоряет экономический рост стран. Именно поэтому правительства и отраслевые корпорации разрабатывают цифровые стратегии. Активное применение цифровых технологий в традиционных отраслях промышленности приводит не только к повышению эффективности и производительности предприятий, но и к форсированию экономического роста стран.

Библиографический список

1. MarketsandMarkets. *Digital Transformation Market*. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-transformation-market-43010479.html> (дата обращения: 29.01.2022).

2. PwC. *Промышленность 4.0: создание цифрового предприятия. Основные результаты исследования по металлургической отрасли*. <https://www.pwc.kz/en/publications/new-2016/metal-key-finding-rus.pdf> (дата обращения: 29.01.2022).
3. Атурин В.В., Мога И.С., Смагулова С.М. Управление цифровой трансформацией: научные подходы и экономическая политика. *Управленец*. 2020;11(2):67–76.
4. The International Federation of Robotics. <https://ifr.org/> (дата обращения: 29.01.2022).
5. Фролова Е.Д., Лукьянов С.А. (ред.) *Мировая экономика и международные экономические отношения: современное состояние, проблемы и основные тенденции развития: учебное пособие*. Екатеринбург: УрФУ; 2016. 84 с.
6. Евразийская экономическая комиссия. *Анализ мирового опыта развития промышленности и подходов к цифровой трансформации промышленности государств-членов Евразийского экономического союза: Информационно-аналитический отчет*. М.; 2017. goo.gl/bkHhn9 (дата обращения: 29.01.2022).
7. Поляков В.В., Смирнов Е.Н., Щенин Р.К. *Мировая экономика и международные экономические отношения*. 2-е изд. М.: Юрайт; 2016. 446 с.
8. Счетная палата РФ. *Воздействие пандемии COVID-19 на промышленность и экологию*. <https://ach.gov.ru/upload/pdf/Covid-19-prom.pdf> (дата обращения: 29.01.2022).
9. *The World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/> (дата обращения: 29.01.2022).
10. Научно-производственный комплекс «Интеграл». *Четвертая индустриальная революция и металлургия: мнение профессионалов*. <http://integral-russia.ru/2017/07/11/chetvertaya-industrialnaya-revolyutsiya-i-metallurgiya-mnenie-professionalov/> (дата обращения: 29.01.2022).
11. *Официальный сайт ПАО «ГМК Норильский никель»*. <https://www.nornickel.ru/> (дата обращения: 29.01.2022).
12. Министерство промышленности и торговли РФ. *Стратегия цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности в целях достижения их «Цифровой зрелости» до 2024 года и на период до 2030 года*. https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/docVersions/60eeffbc127e3/actual/statag_info_2021_compressed.pdf (дата обращения: 29.01.2022).
13. Boston Consulting Group. *Industrial goods*. <https://www.bcg.com/en-ru/> (дата обращения: 29.01.2022).

References

1. MarketsandMarkets. *Digital Transformation Market*. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-transformation-market-43010479.html> (accessed 29.01.2022).
2. PwC. *Industry 4.0: creating a digital enterprise. The main results of the research on the metallurgical industry*. <https://www.pwc.kz/en/publications/new-2016/metal-key-finding-rus.pdf> (accessed 29.01.2022).
3. Aturin V.V., Moga I.S., Smagulova S.M. *Digital Transformation Management: Scientific Approaches and Economic Policy*. *Upravlenets*. 2020;11(2):67–76.
4. The International Federation of Robotics. <https://ifr.org/> (accessed 29.01.2022).
5. Frolova E.D., Lukyanov S.A. (ed.) *The world economy and international economic relations: the current state, problems and main development trends: textbook*. Yekaterinburg: UrFU; 2016. (In Russian).
6. Eurasian Economic Union. *Analysis of the world experience of industrial development and approaches to the digital transformation of the industry of the member states of the Eurasian Economic Union: Information and analytical report*. Moscow; 2017. goo.gl/bkHhn9 (accessed 29.01.2022).
7. Polyakov V.V., Smirnov E.N., Shchenin R.K. *World economy and international economic relations*. 2nd ed. Moscow: Yurait; 2016. (In Russian).
8. Accounts Chamber of the Russian Federation. *The impact of the COVID-19 pandemic on industry and ecology*. <https://ach.gov.ru/upload/pdf/Covid-19-prom.pdf> (accessed 29.01.2022).
9. *The World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/> (accessed 29.01.2022).
10. Research and Production Complex “Integral”. *The Fourth Industrial Revolution and metallurgy: the opinion of professionals*. <http://integral-russia.ru/2017/07/11/chetvertaya-industrialnaya-revolyutsiya-i-metallurgiya-mnenie-professionalov/> (accessed 29.01.2022).
11. *Official website of the Public Joint Stock Company “Mining and Metallurgical Company «NORILSK NICKEL»*. <https://www.nornickel.ru/> (accessed 29.01.2022).
12. Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation. *Strategy of digital transformation of manufacturing industries in order to achieve their “Digital maturity” until 2024 and for the period up to 2030*. https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/docVersions/60eeffbc127e3/actual/statag_info_2021_compressed.pdf (accessed 29.01.2022).
13. Boston Consulting Group. *Industrial goods*. <https://www.bcg.com/en-ru/> (accessed 29.01.2022).