

УДК 338.001.36, 339.944

*Выполнено в рамках фундаментальной НИР «Цикличность развития
мирохозяйственных укладов» по государственному заданию Финансового
университета при Правительстве Российской Федерации.*

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРАН ЕС: ПРИОРИТЕТ РАЗВИТИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© 2022 С.А. Толкачев*

Доктор экономических наук

*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации.
125993, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 49.*

***E-mail:** satolkachev@fa.ru

© 2022 И.Д. Удалов*

*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации.
125993, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 49.*

***E-mail:** china.2012@mail.ru

© 2022 С.А. Темукуев*

*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации.
125993, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 49.*

***E-mail:** temukuevsalikh@gmail.com

Поступила в редакцию 03.09.2021

После доработки 14.11.2021

Принята к публикации 21.12.2021

Аннотация. Цель данной статьи заключается в выявлении тенденций и страновых особенностей цифровизации обрабатывающей промышленности европейских стран. Для реализации данной задачи дана общая характеристика процессов цифровизации в европейских странах, выделены основные направления реализации программ цифровизации в крупнейших странах. Осуществлен критический обзор некоторых статистических инструментов (индексов), используемых для измерения уровня цифровизации промышленности. В качестве методического инструментария использована апробированная авторская методика измерения уровня цифровизации обрабатывающей промышленности на основе выделения кибернетической цифровизации, соответствующей Третьей промышленной рево-

люции, и киберфизической цифровизации, адекватной для Четвертой промышленной революции. На основе обработки статистической базы данных ОЭСР были рассчитаны индексы, характеризующие степень киберфизической и кибернетической цифровизации обрабатывающей промышленности в ведущих странах и геоэкономических центрах Европы. В результате произведённых расчётов получены результаты, подтверждающие опережающее развитие киберфизической цифровизации во всех группах европейских стран. На основе выявленной динамики индексов были сделаны выводы относительно прогресса во внедрении технологий Индустрии 4.0 в обрабатывающую отрасль стран Европы, выдвинуты гипотезы относительно причин низкого уровня развития в отдельных странах, а также предложены прогнозы относительно дальнейшего развития данных процессов.

Ключевые слова: Четвертая промышленная революция, Индустрия 4.0; индексы цифровизации; киберфизическая цифровизация; кибернетическая цифровизация; обрабатывающая промышленность, ОЭСР.

DOI: 10.31857/S0201708322010132

В 2021 г. отмечалось десятилетие возникновения термина «Индустрия 4.0», родиной которого стала Германия, наиболее промышленно-развитая европейская страна, которая в 2011 г. провозгласила курс на Индустрию 4.0 как долгосрочную программу интенсификации применения информационных технологий в производстве. Этому примеру вскоре последовали и другие страны, а термин «Индустрия 4.0» вместе со своим американским «коллегой» – «промышленный интернет вещей» – несколько позднее стали олицетворять собой более широкое понятие Четвертая промышленная революция. Данные понятия основываются прежде всего на процессах внедрения и распространения информационных и иных высоких технологий в сферах производства и потребления, и с ними связаны основные надежды на устойчивое развитие в ближайшие десятилетия [Ghobakhloo, 2020].

Пройденный период позволяет поставить вопрос о результативности развертывания новых цифровых технологий в промышленности. Для этого нами была предложена методологическая концепция разделения всех процессов внедрения цифровых технологий на два последовательно связанных, но при этом довольно автономных процесса: кибернетическую и киберфизическую цифровизацию [Толкачев, 2019].

Кибернетическая цифровизация – атрибут Третьей промышленной революции – включает в себя построение одноименных систем на предприятиях, снижающих издержки на обработку информации и повышающих эффективность управленческих процессов в организации. Практическая реализация данного процесса началась еще в 70-х годах прошлого столетия в виде автоматизированных систем управления (АСУ).

Киберфизическая цифровизация как проявление Четвертой промышленной революции начала развиваться на рубеже 2010-х годов, получила обозначение в виде киберфизических систем (КФС) и означает интеграцию цифровых и *непосредственных производственных* технологических процессов. Переход к Индустрии 4.0 является свидетельством исчерпанности резервов кибернетической цифровизации

для промышленных компаний развитых стран и ресурсов дальнейшей автоматизации непроектируемых процессов [Срничек, 2019]. «КФС состоят из вычислительных, коммуникационных и управляющих компонентов, тесно взаимодействующих с физическими процессами различной природы (механическими, электрическими и химическими)» [Song H. и др., 2018].

В настоящей статье на основе перечня показателей, представленных в статистической базе ОЭСР¹, будут рассчитаны индексы кибернетической и киберфизической цифровизации обрабатывающей промышленности основных индустриальных стран Европы, разделённых нами на несколько групп (геоэкономических регионов): Западная Европа (Германия, Франция, Бельгия, Нидерланды, Швейцария, Италия и Испания), Центральная и Восточная Европа (ЦВЕ: Польша, Чехия, Словакия, Словения, Венгрия), Северная Европа (Норвегия, Швеция, Финляндия, Дания), Британия (рассматриваем как отдельный от Западной Европы геоэкономический регион, особенно после брекзита) и, для сравнения, Япония. Выбор именно данных стран, равно как отсутствие некоторых других (например, США), обусловлен наличием репрезентативных данных в вышеуказанной статистической базе.

Индустрия 4.0 и проблема измерения цифровизации промышленности

Единого подхода к определению составляющих Индустрии 4.0 не существует. Наиболее распространёнными подсистемами, фигурирующими в исследованиях, является Интернет вещей и встроенные системы. Отдельные учёные выделяют зондирование, иные киберфизические системы и робототехнику. До определённого периода в исследованиях Индустрии 4.0 не присутствовали такие сферы, как облачные вычисления и аддитивное производство, что говорит о постоянном расширении данной области и её модификации [Santos C. и др. 2017]. Другими важными технологиями Индустрии 4.0 являются 3D-печать, которую многие производители используют для быстрого удовлетворения локального спроса и роботизация [Belton, 2020].

К настоящему моменту понятие Индустрии 4.0 несколько расширилось. Во многом это обусловлено появлением КФС, которые, помимо кибернетических систем, включают в себя мониторинг состояния продукции на каждом этапе производства и отслеживание его жизненного цикла. Более того, ряд корпораций начал массово применять технологии обработки больших данных для индивидуализации производства товаров и повышения спроса на них [Срничек, 2019].

С учётом специфики названных процессов и сложности их структуры многими экспертами и учёными неоднократно предпринимались попытки создать статистический показатель, способный измерить степень цифровизации экономики.

Специалистами Института статистических исследований и экономики знаний Высшей школы экономики в рамках проекта «Индикаторы цифровой экономики», публикуемого с 2009 г., разработаны индексы цифровизации бизнеса, сельского

¹ OECD Statistics. URL: <https://stats.oecd.org/> (дата обращения: 14.10.2021)

хозяйства, финансового сектора, социальной сферы, характеризующие уровень использования широкополосного интернета, облачных сервисов, RFID-технологий, ERP-систем, включенность в электронную торговлю¹. Индексы рассчитаны для различных отраслей и стран, но они не учитывают предлагаемое нами деление процессов цифровизации на кибернетические и киберфизические, что принципиально важно для обрабатывающей промышленности, формирующей в настоящее время новый индустриальный ландшафт всей мировой экономики [Толкачев, 2017].

Для оценки уровня цифровизации экономики Евросоюза и некоторых стран, не входящих в ЕС, был разработан индекс цифровой экономики и общества (I-DESI) [Бакуменко, Минина, 2020]. Его использование способствует определению областей в государстве, которые требуют инвестиций в целях достижения наиболее высокого уровня цифровизации. Индекс рассчитывается на основе 20 индикаторов по пяти измерениям (связь, цифровые навыки, использование гражданами интернета, интеграция бизнес-технологий, цифровые государственные услуги). Измерение «интеграция цифровых технологий в бизнесе» с удельным весом (20%) отражает некоторые аспекты цифровизации промышленности, но не дает исчерпывающего представления об этом процессе.

Среди современных европейских исследований уровня цифровизации промышленности выделим работу [Castelo-Branco I. и др., 2019], которая по своей методологии близка к настоящей статье, поскольку также построена на анализе статистических показателей ОЭСР и Евростата. Цель исследования состояла в определении лидеров цифровизации экономики, а также аспектов аналитических возможностей обрабатывающей промышленности (способности экономических субъектов обрабатывать большие данные) и инфраструктуры Индустрии 4.0. Скандинавские страны, а также Нидерланды показали высокие результаты в обоих направлениях, превосходя Германию и другие страны Центральной Европы [Castelo-Branco I. и др. 2019], хотя в научной среде принято считать, что Германия как страна с самой мощной обрабатывающей промышленностью должна быть лидером цифровизации. Исследователи приходят к заключению, что наряду с внедрением технологической инфраструктуры необходимо параллельно развивать инструментарий анализа больших данных. В диссертации [Maria Isabel Cabral de Abreu Castelo Branco, 2018] выявлено, что высокий уровень внедрения инфраструктуры Индустрии 4.0 не является гарантом её существования в указанных странах, но указывает на высокую возможность её появления и быстрой адаптации.

Тренды цифровизации промышленности европейских стран

В 2010 г. Европейским союзом была разработана стратегия «Europe 2020 Strategy», целью которой являлось достижение целей устойчивого экономического развития и гибкости экономических систем к новым вызовам со стороны внешней

¹ Индикаторы цифровой экономики 2021. Статистический сборник. URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/484533334.pdf>, с. 194 (дата обращения: 20.08.2021)

среды. Данный программный документ содержал раздел, специализирующийся на цифровизации экономики ЕС, в частности, автоматизации производства, бизнес-процессов, а также создания инновационных бизнес-моделей и стал основой для формирования специализированных стратегий по цифровой экономике на уровне ЕС и на национальном уровне [Hervas-Oliver J.L. и др. 2020].

В настоящее время Европейский союз реализует программу развития, направленную на создание инфраструктуры и непосредственно самих производств нового типа, получивших название «фабрики будущего». Цель программы – сократить потребление минеральных ресурсов и выбросов токсичных веществ в окружающую среду, то есть создание «зелёной промышленности и энергетической системы». В производство должны быть имплементированы новейшие технологии, а подавляющее число сотрудников должно иметь высшее образование и т.д.

Данная программа будет продолжать реализовываться и в Великобритании [Preston, 2021]¹, которая, несмотря на брекзит, планирует к 2030 г. расширить применение облачных технологий в промышленности путём создания облачной базы данных о кадрах для работодателей и др.

Последний отчёт по исполнению данной программы датируется 2017 г. По утверждению инициаторов программы, эффекты, достигнутые к 2017 г., уже оказали благоприятное влияние на различные отрасли обрабатывающей промышленности. Эффект заключался в оптимизации производственных процессов на предприятиях, в частности, в организациях-участниках программы были повышены показатели качества продукции путём внедрения систем мониторинга за производственными линиями. Кроме того, была существенно расширена образовательная сеть. Институты, ответственные за подготовку специалистов в области технологий Четвертой промышленной революции, разработали 272 вида новых профессий. За 2017 г. 51 международный проект разработал и внедрил 191 новую учебную программу по повышению квалификации кадров для Индустрии 4.0. Объём частных инвестиций за 2017 г. примерно равен 550 млн евро, в то время как заявленный объём совокупных вложений частного сектора в данную инициативу был оценен в сумму от одного до 5 млрд евро [Factories... 2017].

Переходя к страновым характеристикам цифровизации промышленности отметим, что для немецких предприятий характерна высокая степень готовности к внедрению инфраструктуры Индустрии 4.0. Тем не менее возможности к внедрению соответствующих систем зависят от размера самих предприятий, поэтому финансирование технологических модернизаций должно осуществляться не только самим бизнесом, но и со стороны государства. Немецкое государство также столкнулось с существенной проблемой кадров, необходимых для обслуживания и внедрения киберфизических систем. Развитие Индустрии 4.0 должно также включать расширение программ школьного и высшего образования [Sommer, 2015].

¹ J. Preston. Factories of the future: we're spending heavily to give workers skills they won't need by 2030. The conversation, 2021. URL: <https://theconversation.com/factories-of-the-future-were-spending-heavily-to-give-workers-skills-they-wont-need-by-2030-165109> (дата обращения: 20.10.2021)

В соседней Франции схожие тренды развития индустрии нового поколения начались позже. Программные документы, направленные конкретно на развитие киберфизических систем, впервые появились в 2015 г. Основными направлениями, на которых ориентировано французское правительство, является робототехника и аддитивное производство. По инициативе правительства был создан Альянс Индустрии будущего (*Alliance Industrie du Futur*) [Raffour, 2016]. Данная госструктура поддерживает бизнес во внедрении технологий промышленного производства четвертого поколения, а также способствует реализации промышленных проектов и координации экономических субъектов [Larosse, 2017].

В Испании в рамках осуществления вышеописанных европейских проектов были созданы специальные цифровые хабы, занимающиеся продвижением новых производственных технологий на предприятия обрабатывающей промышленности, организацией экспериментов и испытаний новые производственных практик и бизнес-моделей, а также служащие площадками для переквалификации кадров [Hervas-Oliver J.L. и др. 2020].

В Северной Европе модернизация обрабатывающей промышленности происходит высокими темпами. В силу территориальных, социальных и иных факторов Дания не обладает крупными промышленными предприятиями, способными стать локомотивами на пути технологической модернизации. Тем не менее правительство Дании, осознавая угрозу стагнации национальной экономики и снижения темпов экономического роста, разработало ряд программных документов, направленных на развитие интеграции академического сообщества, средних и мелких предприятий и государственных институтов с целью форсирования технологической модернизации. Объединение, по мнению исследователей, имеет шансы на успешное достижение целей по модернизации, так как кооперация на отдельных ключевых аспектах в соединении с единством экономических субъектов способно без особых потрясений адаптировать негибкую экономику страны к новым условиям ведения хозяйства [Darnley R.E. и др. 2018].

Схожая ситуация характерна для Швеции. По итогам исследования, предметом которого является оценка готовности предприятий Швеции к внедрению искусственного интеллекта, авторами было заключено, что данный аспект киберфизических систем на сегодняшний день невозможен к внедрению на территории страны. Это вызвано недостаточным уровнем квалификации персонала, несмотря на технологическую готовность самих предприятий [Truvé T. и др. 2019].

В Норвегии имеется базовая инфраструктура и предпосылки для имплементации подсистем индустрии 4.0: большинство предприятий имеют цифровое оборудование, а абсолютное большинство сотрудников используют компьютеры. Адаптация кадров к цифровым технологиям способствует более эффективному внедрению подсистем Индустрии 4.0 в экономику [Torvatn H. и др. 2019].

В Восточной Европе также заметен тренд на внедрение инфраструктуры Индустрии 4.0 в экономику. Исследование промышленности Чехии свидетельствует о том, что ряд предприятий страны уже активно применяют технологии Индустрии 4.0, однако их количество на 2017 г. было слишком мало, чтобы говорить о существенном развитии киберфизической цифровизации [Basl J., Kopp J. 2017].

В Венгрии правительство в 2016 г. инициировало создание госструктуры и программ по внедрению соответствующих цифровых технологий в национальное хозяйство. Сложности, с которыми столкнулось венгерское правительство, были типичными для европейских стран: недостаток квалифицированных кадров, большое количество малых и средних предприятий, по большей части неспособных финансировать технологическое переоснащение производства за собственные средства. Несмотря на разработанные программы, эффективность развития Индустрии 4.0 в Венгрии является одной из самых низких в Европе [Nick G. A. и др. 2019].

Индексы кибернетической и киберфизической цифровизации

Для измерения уровня цифровизации обрабатывающей промышленности европейских стран мы обратились к базе данных ОЭСР¹, где представлена богатейшая информация об использовании тех или иных информационных технологий в различных сферах экономики. Мы выбрали обрабатывающую промышленность и отобрали несколько показателей для каждого индекса из более 40 показателей ICT. Ниже приведены эти показатели с сохранением шифра базы данных ОЭСР. Обоснование отбора показателей дано в нашей работе [Толкачев, 2019]. Мы осознаем, что данный перечень показателей не исчерпывает всего набора технологий Индустрии 4.0. Одним из таких параметров является, например, использование технологий 3D-моделирования и печати. Данный показатель только начал появляться в базе данных ОЭСР, и скромный объём накопленных по годам данных не позволяет включать их в Индекс киберфизической цифровизации. Другие показатели пока даже не получили статистического отражения.

Показатели киберфизической цифровизации

Киберфизическая цифровизация означает интеграцию инфокоммуникационных технологий в производственные процессы, поэтому отобраны те показатели, которые в наибольшей степени обеспечивают такую интеграцию.

S3A – предприятия, использующие программное обеспечение ERP (%)

S3D – предприятия, использующие технологию RFID (%)

G3 – компании, покупающие услуги облачных вычислений (%)

G7 – Компании, выполняющие анализ больших данных (%)

A2 – предприятия с широкополосным подключением (к Интернету) (стационарное и мобильное) (%)

E7 – Компании с официальной политикой управления рисками конфиденциальности ИКТ (%)

Показатели кибернетической цифровизации

Кибернетическая цифровизация

S3B – предприятия, использующие программное обеспечение CRM (%)

¹ OECD Statistics. URL: <https://stats.oecd.org/> - Information and Communication Technology – ICT Access and Usage by Businesses. (дата обращения: 26.10.2020)

S4 – предприятия, обменивающиеся электронной информацией SCM с поставщиками и клиентами (%)

B2 – компании с веб-сайтом, позволяющим осуществлять онлайн-бронирование (%)

D2B – Заказы, полученные через интернет (%)

K1 – Компании, использующие социальные сети (%).

Для вычисления индексов цифровизации использованы формулы расчета средней арифметической величины среди отобранных показателей. Использование средневзвешенных величин пока преждевременно из-за отсутствия общественного консенсуса по вопросу степени влияния отдельных показателей на итоговый результат.

Указанная база данных ОЭСР содержит неполное количество данных по годам и странам как по отобранным, так и по остальным показателям. Поэтому тщательный отбор допустил относительно небольшое число пропущенных данных. Искажение исторических данных при расчете индекса минимально, так как они относятся к наиболее позднему времени. Оценка недостающих данных осуществлялась по программе Гэри Кинга Amelia II, что уменьшило смещение данных.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования представлены в Таблицах 1–2.

Таблица 1

Страновые индексы киберфизической цифровизации, %

Год	Западная Европа (ЗЕ)								Великобритания	Япония	
	В среднем	Бельгия	Франция	Германия	Италия	Нидерланды	Испания	Швейцария			
2014	44,50	н/д	50,05	45,68	48,01	38,89	42,03	42,34	36,87	45,44	
2015	45,97	н/д	51,96	49,96	45,40	40,34	42,39	45,78	40,10	49,66	
2016	42,91	51,56	44,91	40,48	35,87	44,74	36,54	46,23	53,76	47,46	
2017	45,15	57,29	48,98	40,98	36,13	47,69	38,26	46,68	44,38	56,24	
2018	48,86	н/д	58,64	45,28	41,39	56,27	42,73	н/д	н/д	53,92	
2019	51,17	н/д	62,22	45,78	46,59	57,75	43,49	н/д	н/д	55,21	
Год	Северная Европа (СЕ)					Центральная и Восточная Европа (ЦВЕ)					
	В среднем	Норвегия	Швеция	Дания	Финляндия	В среднем	Чехия	Венгрия	Польша	Словакия	Словения
2014	47,42	41,57	50,46	48,66	48,99	36,16	38,11	30,77	31,73	39,04	41,15
2015	49,14	44,60	50,73	50,72	50,51	38,13	39,64	32,71	32,46	42,89	42,93
2016	43,68	45,36	42,75	42,55	44,04	32,23	33,29	27,64	28,31	34,79	37,11
2017	45,19	47,46	43,42	43,78	46,08	33,54	34,19	27,95	29,69	37,08	38,80
2018	52,92	50,39	53,15	55,66	52,49	39,17	42,64	33,47	35,71	40,54	43,48
2019	56,96	55,06	57,02	59,65	56,09	40,37	44,63	34,23	37,93	39,82	45,26

Составлено и рассчитано по: OECD Statistics. URL: <https://stats.oecd.org/> – Information and Communication Technology – ICT Access and Usage by Businesses. (дата обращения: 26.10.2020)

Таблица 2

Страновые индексы кибернетической цифровизации, %

Год	Западная Европа (ЗЕ)								Велико-британия	Япония	
	В среднем	Бельгия	Франция	Германия	Италия	Нидерланды	Испания	Швейцария			
2014	19,69	н/д	12,62	22,28	16,54	28,38	18,60	н/д	17,75	н/д	
2015	21,65	н/д	16,17	25,05	17,49	31,70	19,50	20	20,40	н/д	
2016	21,43	14,47	17,41	27,26	17,46	31,01	19,78	22,64	23,09	н/д	
2017	24,78	29,78	18,04	28,47	18,49	32,40	21,01	25,28	24,27	10,50	
2018	25,15	19,34	25,52	26,35	16,50	38,03	н/д	н/д	н/д	8,65	
2019	27,04	н/д	25,69	26,78	16,72	38,98	н/д	н/д	н/д	15,66	
Год	Северная Европа (СЕ)					Центральная и Восточная Европа (ЦВЕ)					
	В среднем	Норвегия	Швеция	Дания	Финляндия	В среднем	Чехия	Венгрия	Польша	Словакия	Словения
2014	23,29	21,96	21,56	21,54	28,11	17,07	17,65	12,12	17,59	17,69	20,30
2015	25,92	23,58	23,03	24,85	32,22	17,08	17,66	12,92	14,83	19,09	20,91
2016	26,79	25,55	24,03	24,98	32,62	18,18	18,33	13,67	16,08	20,44	22,38
2017	26,29	26,48	25,36	26,29	27,05	17,53	19,22	13,67	16,65	19,96	18,15
2018	27,70	32,36	24,59	22,97	30,88	17,43	14,14	17,14	18,47	17,85	19,53
2019	29,15	34,07	25,25	25,29	31,99	15,86	11,54	18,22	н/д	17,83	н/д

Составлено и рассчитано по: OECD Statistics. URL: <https://stats.oecd.org/> – Information and Communication Technology – ICT Access and Usage by Businesses. (дата обращения: 26.10.2020)

Прежде всего, обращает на себя внимание гораздо более высокий достигнутый уровень киберфизической цифровизации во всех странах и группировках, по сравнению с уровнем кибернетической цифровизации. Темпы роста индекса киберфизической цифровизации во многих странах также существенно опережают темпы роста устаревшей кибернетической цифровизации. Например, страны ЦВЕ в целом демонстрируют даже отрицательные темпы роста кибернетической цифровизации при возрастании киберфизической цифровизации. Это лишний раз подтверждает реализуемый в настоящее время переход к освоению технологий Индустрии 4.0 или переход от Третьей к Четвертой промышленной революции

Как и следовало ожидать, в Европе страны ЗЕ заметно опережают ЦВЕ, но несколько уступают северным странам, что, впрочем, вполне объяснимо на основе меньших масштабов обрабатывающей промышленности в последних. Япония демонстрирует сопоставимый с передовой Европой уровень киберфизической цифровизации.

Удивительным фактом является отсутствие явного прогресса киберфизической цифровизации в Германии, так как данное государство инициировало разработку новых промышленных систем Индустрии 4.0. Эта страна отстает по уровню цифровизации от Франции, от всех североευропейских стран и стоит на одном уровне с Чехией. Невнятные показатели киберфизической цифровизации демонстрируют также Италия, Испания и Швейцария.

Результаты расчёта индекса кибернетической цифровизации отражают схожие тренды и пропорции между геоэкономическими группировками, но с поправкой на

в целом более низкий уровень показателей. Наиболее высокие темпы внедрения кибернетических систем присутствуют в странах СЕ, а также во Франции.

Британия относительно всех выделенных групп занимает некое срединное положение как по общему уровню, так и по темпам развития обоих индексов цифровизации.

Заключение

По итогам проведённого выше исследования можно заключить, что на основе существующих статистических показателей, характеризующих уровень цифровизации, можно составить приблизительную картину внедрения цифровых технологий как в производственные процессы (индекс киберфизической цифровизации), так и в непроизводственные бизнес-процессы предприятий обрабатывающей промышленности (индекс кибернетической цифровизации). Предложенные индексы не исключают возможности включения в них дополнительных показателей, характеризующих иные технологии в рамках Индустрии 4.0.

Проведённое при помощи предложенных индексов исследование свидетельствует о высоких темпах цифровизации в странах Скандинавии, что вполне коррелирует с данными индексов Всемирного экономического форума и I-DESI. Хотя одним из пионеров модернизации материального производства в Европе является Германия, полученные данные свидетельствуют о том, что это государство уступает пальму первенства своим ближайшим соседям, в том числе и Франции. Восточная Европа заметно отстаёт от Западной, о чём свидетельствуют низкие показатели индексов. Это отражает сильную неравномерность развития стран в рамках ЕС, что может привести к нарастанию противоречий между государствами с тревожными последствиями для единого экономического пространства.

Низкий уровень кибернетической цифровизации не противоречит высокому уровню развития и внедрения киберфизических систем. Это может свидетельствовать о некоторой обособленности в протекании данных процессов и о явном приоритете в развитии киберфизических систем над кибернетическими. Наиболее промышленно-развитые страны Европы успешно реализуют политику киберфизической цифровизации, которая в ближайшие годы коренным образом изменит облик как всей обрабатывающей промышленности, так и сопутствующих отраслей, в русле формирования экономики устойчивого развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев А. В. (2013) Инновационная стратегия 2020: Новые возможности или старые ограничения? *Россия и современный мир*, № 1 (78). С. 145–157.

Бакуменко, Л. П., & Минина, Е. А. (2020) Международный индекс цифровой экономики и общества (I-DESI): тенденции развития цифровых технологий, *Статистика и экономика*, № 2, С. 40–54. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2020-2-40-54>

Срничек Н. (2019) *Капитализм платформ*. ИД ВШЭ, Москва, Россия. 128 с.

Скляр М. А., Кудрявцева, К. В. (2019). Цифровизация: основные направления, преимущества и риски, *Экономическое возрождение России*, № 3 (61), С. 103–114.

Толкачев С.А. (2017) Качественные изменения глобального индустриального ландшафта. *Научные труды Вольного экономического общества России*, № 207(5), С. 170–200.

Толкачев С.А. (2019) Киберфизические компоненты повышения конкурентоспособности обрабатывающих отраслей промышленности. *Экономическое возрождение России*, № 3(61), С. 127–145.

Alessi C. (2014) *Germany Develops “Smart Factories” to Keep an Edge*, [Online], URL: <https://www.marketwatch.com/story/germany-develops-smart-factories-to-keep-an-edge-2014-10-27> (accessed: 20 Nov 2021).

Basl, J., & Kopp, J. (2017). Study of the Readiness of Czech Companies to the Industry 4.0, *Journal of Systems Integration*, No 8 (3), pp. 40–45. <http://dx.doi.org/10.20470/jsi.v8i3.313>

Branco, M.I.C.D.A.C. (2019). Digitization of the manufacturing sector across the EU: Assessing readiness for industry 4.0, Master’s Thesis, Universidade NOVA de Lisboa, Lisbon, Portugal. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Digitization-of-the-manufacturing-sector-across-the-Branco/e1b485d62625c5f17d80ad20ddaca7018c13f9a5> (accessed: 20 Nov 2021).

Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., & Oliveira, T. (2019). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry*, No 107, pp. 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007>

Darnley, R. E., Kim, A. S., Kerns, M. C., & DiPlacido, M. P. (2018). *Industry 4.0: Digitization in Danish Industry*. Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 140 p.

Factories of the Future Public-Private Partnership. Progress Monitoring Report for 2017. (2017) The European Factories of the Future Research Association, Brussels, Belgium, 39 p.

Global Competitiveness Network: Frequently Asked Questions. Explained.Today: The Information and Knowledge Portal, URL: https://everything.explained.today/Global_Competitiveness_Report/ (accessed: 30 Nov 2021).

Ghobakhloo M. (2020) Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability, *Journal of cleaner production*. Vol. 252:119869. URL: https://www.researchgate.net/publication/338204494_Industry_40_Digitization_and_Opportunities_for_Sustainability (accessed: 30 Nov 2021).

Hervas-Oliver, J. L., Gonzalez-Alcaide, G., Rojas-Alvarado, R., & Monto-Mompo, S. (2021). Emerging regional innovation policies for industry 4.0: Analyzing the digital innovation hub program in European regions. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, No 1, pp. 106–129 <https://doi.org/10.1108/CR-12-2019-0159>.

Larosse, J. (2017). *Analysis of national initiatives on digitising European industry – France: Alliance Industrie du Futur*. VANGUARD INITIATIVES Consult&Creation, URL: <https://ec.europa.eu/futurium/en/implementing-digitising-european-industry-actions/national-initiatives-digitising-industry.html> (accessed 25 Nov 2021).

Miller, R. (2015) GE Adds Infrastructure Services to Internet of Things Platform, URL: <https://techcrunch.com/2015/08/04/ge-adds-infrastructure-services-to-internet-of-things-platform/> (accessed 15 Nov 2021).

Miller, R. (2015) GE Predicts Predix Platform Will Generate \$6B In Revenue This Year, URL: <https://techcrunch.com/2015/09/29/ge-predicts-predix-platform-will-generate-6b-in-revenue-this-year/> (accessed 25 Nov 2021).

Nick, G. A., Gallina, V., Szaller, Á., Várgedő, T., & Schumacher, A. (2019). Industry 4.0 in Germany, Austria and Hungary: interpretation, strategies and readiness models, *16th IMEKO TC10 Conference "Testing, Diagnostics & Inspection as a comprehensive value chain for Quality & Safety"*, Berlin, Germany, September 3-4, 2019, pp. 71–76.

Raffour, C. (2016). *Nouvelle France Industrielle. Fiche repère FutuRIS*. Alliance Industrie du Futur, Paris, France, 5 p. URL: <http://www.web1.anrt.typhon.net/sites/default/files/fiche-repere-nouvelle-france-industrielle.pdf> (accessed 5 Nov 2021).

Santos, C., Mehra, A., Barros, A. C., Araújo, M., & Ares, E. (2017). Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. *Procedia Manufacturing*, No 13, pp. 972–979. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.093>

Schwab, K. (ed.) (2018) *The Global Competitiveness Report 2018*. World Economic Forum, Cologny/Geneva, Switzerland, 657 p. URL: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2018> (accessed: 13 Nov 2021).

Schwab, K. (ed.) (2019) *Global Competitiveness Report 2019: How to end a lost decade of productivity growth*. World Economic Forum, Cologny/Geneva, Switzerland, 650 p. URL: <https://www.weforum.org/reports/how-to-end-a-decade-of-lost-productivity-growth> (accessed: 13.11.2021)

Sommer, L. (2015). Industrial revolution-industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, No 8(5), pp. 1512–1532. <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1470>

Song, H., Fink, G. A., & Jeschke, S. (Eds.). (2018). *Security and privacy in cyber-physical systems: Foundations, principles, and applications*. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803801-7.00009-2>

Torvatn, H., Kamsvåg, P., & Kløve, B. (2019). Industry 4.0 visions and reality-status in Norway. *IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2019*, Austin, USA, September 1–5, 2019, pp. 347–354. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29996-5_40

Truvé, T., Wallin, M., & Ryfors, D. (2019). Swedish manufacturing SMEs readiness for industry 4.0: what factors influence an implementation of artificial intelligence and how ready are manufacturing SMEs in Sweden?, Bachelor Thesis, Jönköping University, Jönköping, Sweden, 72p. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1321698/FULLTEXT01.pdf>. (accessed: 13.11.2021)

Digitalization of the Manufacturing Industry in the EU: Cyber-Physical Systems Priority Development

S.A. Tolkachev*

Doctor of Science (Economics)

*Financial University under the Government of Russian Federation,
49, Leningradsky Prospekt, Moscow, Russia, 125993.*

***E-mail:** satolkachev@fa.ru

I.D. Udalov*

*Financial University under the Government of Russian Federation,
49, Leningradsky Prospekt, Moscow, Russia, 125993.*

***E-mail:** china.2012@mail.ru

S.A. Temukuev*

Financial University under the Government of Russian Federation.

49, Leningradsky Prospekt, Moscow, Russia, 125993.

***E-mail:** *temukuevsalikh@gmail.com*

Abstract. The purpose of this article is to identify trends and country characteristics of the European manufacturing industry digitalization. To implement this task, the overall characteristics of digitalization processes in European countries were carried out, the main directions for the implementation of digitalization programs in the largest countries were allocated. A critical overview of some statistical tools (indexes) used to measure the level of digitalization of the industry was carried out. As a methodological instrument, a tested author's method for measuring the level of digitalization of the manufacturing industry was used based on the release of cybernetic digitalization corresponding to the third industrial revolution, and cyberphysical digitalization, adequate to the fourth industrial revolution. Based on the processing of the OECD statistical database, indices characterized by the degree of cyberphysical and cybernetic digitalization of the manufacturing industry in leading countries and geoeconomic centers of Europe were calculated. As a result of the calculations, the data was obtained confirming the advanced development of cyberphysical digitalization in all groups of European countries. Based on the identified dynamics of indexes, conclusions were made regarding the progress of the implementation of the 4.0 industry technologies in the processing industry of Europe, hypothesis relative to the reasons for the low level of development in individual countries, and also proposed predictions regarding the further development of these processes.

Keywords: Fourth Industrial Revolution, Industry 4.0; Digitalization Indices; Cyberphysical Digitalization; Cybernetic Digitalization; Manufacturing, OECD.

DOI: 10.31857/S0201708322010132

REFERENCES

Alekseev A. V. (2013) Innovatsionnaya strategiya 2020: Novye vozmozhnosti ili starые ogranicheniya? [Innovation Strategy 2020: New Opportunities or Old Constraints?], *Rossiya i sovremennyyi mir*, No 1 (78), pp. 145–157. (In Russian).

Alessi C. (2014) *Germany Develops “Smart Factories” to Keep an Edge*, [Online], URL: <https://www.marketwatch.com/story/germany-develops-smart-factories-to-keep-an-edge-2014-10-27> (accessed: 20 Nov 2021).

Bakumenko L. P., & Minina, E. A. (2020) Mezhdunarodnyi indeks tsifrovoy ekonomiki i obshchestva (I-DESI): tendentsii razvitiya tsifrovoykh tekhnologii [International Digital Economy and Society Index (I-DESI): Digital Trends], *Statistika i ekonomika*, No 2, pp. 40–54. (In Russian) <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2020-2-40-54>

Basl, J., & Kopp, J. (2017). Study of the Readiness of Czech Companies to the Industry 4.0, *Journal of Systems Integration*, No 8 (3), pp. 40–45.

<http://dx.doi.org/10.20470/jsi.v8i3.313>

Branco, M.I.C.D.A.C. (2019). Digitization of the manufacturing sector across the EU: Assessing readiness for industry 4.0, Master's Thesis, Universidade NOVA de Lisboa, Lisbon, Portugal. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Digitization-of-the-manufacturing-sector-across-the-Branco/e1b485d62625c5f17d80ad20ddaca7018c13f9a5> (accessed: 20 Nov 2021).

Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., & Oliveira, T. (2019). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry*, No 107, pp. 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007>

Darnley, R. E., Kim, A. S., Kerns, M. C., & DiPlacido, M. P. (2018). *Industry 4.0: Digitization in Danish Industry*. Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 140 p.

Factories of the Future Public-Private Partnership. Progress Monitoring Report for 2017. (2017) The European Factories of the Future Research Association, Brussels, Belgium, 39 p.

Global Competitiveness Network: Frequently Asked Questions. Explained.Today: The Information and Knowledge Portal, URL: https://everything.explained.today/Global_Competitiveness_Report/ (accessed: 30 Nov 2021).

Ghobakhloo M. (2020) Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability, *Journal of cleaner production*. Vol. 252:119869. URL: https://www.researchgate.net/publication/338204494_Industry_40_Digitization_and_Opportunities_for_Sustainability (accessed: 30 Nov 2021).

Hervas-Oliver, J. L., Gonzalez-Alcaide, G., Rojas-Alvarado, R., & Monto-Mompo, S. (2021). Emerging regional innovation policies for industry 4.0: Analyzing the digital innovation hub program in European regions. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, No 1, pp. 106–129 <https://doi.org/10.1108/CR-12-2019-0159>.

Larosse, J. (2017). *Analysis of national initiatives on digitising European industry – France: Alliance Industrie du Futur*. VANGUARD INITIATIVES Consult&Creation, URL: <https://ec.europa.eu/futurium/en/implementing-digitising-european-industry-actions/national-initiatives-digitising-industry.html> (accessed 25 Nov 2021).

Miller, R. (2015) GE Adds Infrastructure Services to Internet of Things Platform, URL: <https://techcrunch.com/2015/08/04/ge-adds-infrastructure-services-to-internet-of-things-platform/> (accessed 15 Nov 2021).

Miller, R. (2015) GE Predicts Predix Platform Will Generate \$6B In Revenue This Year, URL: <https://techcrunch.com/2015/09/29/ge-predicts-predix-platform-will-generate-6b-in-revenue-this-year/> (accessed 25 Nov 2021).

Nick, G. A., Gallina, V., Szaller, Á., Várgedő, T., & Schumacher, A. (2019). Industry 4.0 in Germany, Austria and Hungary: interpretation, strategies and readiness models, *16th IMEKO TC10 Conference “Testing, Diagnostics & Inspection as a comprehensive value chain for Quality & Safety*, Berlin, Germany, September 3-4, 2019, pp. 71–76.

Raffour, C. (2016). *Nouvelle France Industrielle. Fiche repère FutuRIS*. Alliance Industrie du Futur, Paris, France, 5 p. URL: <http://www.web1.anrt.typhon.net/sites/default/files/fiche-repere-nouvelle-france-industrielle.pdf> (accessed 5 Nov 2021).

Santos, C., Mehra, A., Barros, A. C., Araújo, M., & Ares, E. (2017). Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. *Procedia Manufacturing*, No 13, pp. 972–979. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.093>

Schwab, K. (ed.) (2018) *The Global Competitiveness Report 2018*. World Economic Forum, Cologny/Geneva, Switzerland, 657 p. URL: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2018> (accessed: 13 Nov 2021).

Schwab, K. (ed.) (2019) *Global Competitiveness Report 2019: How to end a lost decade of productivity growth*. World Economic Forum, Cologny/Geneva, Switzerland, 650 p. URL: <https://www.weforum.org/reports/how-to-end-a-decade-of-lost-productivity-growth> (accessed: 13.11.2021)

Sklyar, M. A., Kudryavtseva, K. V. (2019). Tsifrovizatsiya: osnovnye napravleniya, premushchestva i riski [Digitalization: main directions, advantages and risks], *Ekonomicheskoe vrozozhdenie Rossii*, No 3 (61), pp. 103–114. (In Russian)

Sommer, L. (2015). Industrial revolution-industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, No 8(5), pp. 1512–1532. <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1470>

Song, H., Fink, G. A., & Jeschke, S. (Eds.). (2018). *Security and privacy in cyber-physical systems: Foundations, principles, and applications*. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803801-7.00009-2>

Srnichek, N. (2019) *Kapitalizm platform* [Platform capitalism]. ID VSHE, Moscow, 128 p. (In Russian).

Tolkachev, S.A. (2017). Kachestvennye izmeneniya global'nogo industrial'nogo landshafta [Qualitative changes in the global industrial landscape], *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii*, No 207(5), pp. 170–200. (In Russian).

Tolkachev, S.A. (2019). Kiberfizicheskie komponenty povysheniya konkurentosposobnosti obrabatyvayushchikh otraslei promyshlennosti [Cyber-physical components of increasing the competitiveness of manufacturing industries]. *Ekonomicheskoe vrozozhdenie Rossii*, No 3 (61), pp. 127–145. (In Russian).

Torvatn, H., Kamsvåg, P., & Kløve, B. (2019). Industry 4.0 visions and reality-status in Norway. *IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2019*, Austin, USA, September 1–5, 2019, pp. 347–354. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29996-5_40

Truvé, T., Wallin, M., & Ryfors, D. (2019). Swedish manufacturing SMEs readiness for industry 4.0: what factors influence an implementation of artificial intelligence and how ready are manufacturing SMEs in Sweden?, Bachelor Thesis, Jönköping University, Jönköping, Sweden, 72p. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1321698/FULLTEXT01.pdf>. (accessed: 13.11.2021)