

УДК 004.942

С.Г. Кренева, А.А. Юдина

ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола,
email: Le_xa@list.ru

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ DIGITAL TWIN

Ключевые слова: сквозная технология, промышленность, индустрия, экономика, субтехнология.

Термин «сквозные цифровые технологии» впервые введен в первоначальной версии программы «Цифровая экономика РФ», утвержденной распоряжением правительства 28 июля 2017 г. Цифровизация бизнес-процессов помогает наладить производство и контроль на всех этапах жизненного цикла современного продукта. С точки зрения наглядности, трехмерная графика позволяет не только визуализировать реализацию объемного прототипа, давая возможность получить точное представление о том, как он будет выглядеть, но и предполагает устранение неполадок функционирования продукта на этапе его испытания, то есть обнаружить проблемы до его эксплуатации на производстве. Данный способ активно применяется на российском рынке среди высокотехнологичных компаний, связанных с различного рода производством.

S.G. Kreneva, A.A. Yudina

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Mari State University», Yoshkar-Ola, email: Le_xa@list.ru

DEVELOPMENT OF DIGITAL SIMULATION IN THE INDUSTRIAL FIELD ON THE EXAMPLE OF THE IMPLEMENTATION OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY

Keywords: end-to-end technology, industry, industry, economy, subtechnology.

The term “end-to-end digital technologies” was first introduced in the initial version of the “Digital Economy of the Russian Federation” program, approved by government decree on July 28, 2017. Digitalization of business processes helps to establish production and control at all stages of the life cycle of a modern product. In terms of visibility, 3D graphics not only allows visualization of the implementation of a three-dimensional prototype, giving an opportunity to get an accurate idea of how it will look like, but also involves troubleshooting the functioning of the product at the stage of its testing, that is, detecting problems before it is used in production. This method is actively used in the Russian market among high-tech companies associated with various kinds of production.

В России практика использования технологии Digital Twin получила широкое распространение в секторе машиностроения, включая атомное, нефтегазовое, тяжелое, специальное машиностроение; в производстве летательных аппаратов, включая космические, а также в добыче полезных ископаемых и медицине. Однако в России существует проблема внедрения многих перспективных технологий.

Согласно данным таблицы 1, индекс значимости технологий, набирающих популярность на мировом рынке производства, в России имеют достаточно низкий уровень значимости [3].

Цель исследования внедрение и развитие в динамике цифрового двойника,

как инструмента организации бизнес-процессов в промышленной индустрии

Материал и методы исследования

В настоящее время почти во всех сферах жизни используются новые технологии с целью сделать рабочий процесс более экономичным, быстрым и эффективным. Рынок промышленной сферы ежегодно пополняется технологическими инновациями, из-за чего паттерны управления производством и реализации продуктов и услуг, которые есть на данный момент пусть еще и актуальны, но все равно требуют постоянной доработки и модернизации, для того чтобы не терять свою эффективность и рациональность. Следует рассмотреть

основные данные рынка промышленности в Российской Федерации:

- структуру затрат на инновационную деятельность по данным Росстат за 2019-2022 года;
- перечень рисков и возможных ограничений развития сквозных цифровых технологий;
- динамику внедрения IT-проектов в крупных промышленных компаниях за 2019-2022 год.

Актуальность

Общество периода индустрии 4.0 живет, опираясь на развитие сквозных технологий цифровой экономики. Ключевую роль в развитии экономического потенциала страны является распространение новых подходов, материалов, методов и процессов, которые используются для проектирования и производства глобально конкурентоспособных и востребованных на мировом рынке продуктов или изделий в сфере промышленности. Разработка и внедрение передовых технологий является обязательным условием для становления российских промышленных компаний полноправными игроками мирового высокотехнологического рынка.

Проблема

Технология – это живая система, которая в ходе времени претерпевает как количественные изменения, так и качественные. Недостаточное стимулирование разработки новых цифровых платформ, программных продуктов, а также масштабирования внедрения существующих на рынке решений в целях цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности, путем внедрения трендов сквозных технологий.

Как уже было сказано ранее. Существует проблема внедрения трендов цифровизации на российские промышленные предприятия. Давайте разберем эту проблему на примере технологии Digital Twin (цифровой двойник).

Цифровой двойник (Digital Twin) – это виртуальная интерактивная копия реального физического объекта или процесса, которая помогает эффективно управлять им, оптимизируя бизнес-процессы. В отличие от обычной информационной модели, цифровой двойник

не ограничивается сбором данных, полученных во время разработки и изготовления продукта и имеет возможность анализировать и архивировать данные реального объекта, изделия или устройства на протяжении всего его жизненного цикла. Наравне с BIM-технологиями цифровой двойник активно внедряется в различные сферы промышленности. Виртуальное испытание изделий с помощью программ позволит увидеть более подробную картину об объекте, включая процесс проектирования, оснащения и обслуживания на всех этапах жизненного цикла [4].

Развитие сквозных технологий является основным трендом четвертой промышленной революции (Industry 4.0). Основными трендами являются облачный компьютеринг, большие данные, киберфизические системы, искусственный интеллект (ИИ), 3D-печать, интернет вещей и некоторые другие, однако авторитетные представители экспертного сообщества делают акцент на важности развития цифрового двойника, как точки пересечения трех кругов – конструирование, проектирование и исследование.

Так, применение данной сквозной технологии в промышленной области было представлено на главной индустриальной, торговой и экспортной площадке в России ИННОПРОМ [1]. В 2019 году была представлена технология цифрового двойника и актуальные возможности программного обеспечения для численного моделирования. На сегодняшний день данная технология является главным трендом развития в выполнении важнейших управленческих функций, это также отмечает проректор по цифровой трансформации Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), руководитель Научного центра мирового уровня СПбПУ «Передовые цифровые технологии», Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» и Инжинирингового центра (CompMechLab) СПбПУ Алексей Боровков, являющийся также членом экспертного совета ИННОПРОМ. В своем выступлении проректор отметил, что Digital Twin – это своего рода инструмент, позволяющий быстрее обнаруживать проблемы, точнее предсказывать их

результаты и доводить изделие до серии, минуя ряд дорогостоящих этапов. Затем Алексей Боровков остановился на таком понятии как «долина смерти», акцентируя на важной роли цифровых двойников в их преодолении, а также провел анализ традиционного производства, отметив, что разработка комплексного цифрового двойника позволяет на первом этапе производства пройти все необходимые испытания и значительно уменьшить время и себестоимость разработки глобально конкурентоспособной продукции нового поколения [5].

На основании проведенного анализа и в соответствии с рекомендациями Наблюдательного совета АНО «Цифровая экономика», сформированными

на заседании 24.05.2019, сквозные цифровые технологии «Новые производственные технологии» (далее – СЦТ НПТ) включает следующий перечень субтехнологий (это группа технологий, включенная в состав «сквозной» цифровой технологии Digital Twin) [2]:

1. Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design).

2. Технологии «умного» производства (Smart Manufacturing).

3. Манипуляторы и технологии манипулирования.

Текущее состояние и целевые показатели развития до 2021 и 2024 года (технологические и отдельные экономические) [9].

Таблица 1

Значимость технологий на российском рынке

Название технологии	Индекс значимости на российском рынке, в %
Блокчейн	0,20
Умные фабрики	0,01
Искусственный интеллект	0,86
Большие данные	0,20
Цифровой двойник	0,02
Промышленные роботы	1,00
Виртуальная и дополненная реальность	0,12
Беспроводная сеть WLAN, PAN, RFID	0,30



Рис. 1. Особенности технологии «цифровой двойник»

окончание табл. 2				
Субтехнология	Целевое состояние субтехнологии/техническая характеристика	2019 год	2021 год	2024 год
Показатели и индикаторы федерального проекта «Цифровые технологии»	Достигнуты показатели и индикаторы федерального проекта «Цифровые технологии»: Э-1 – увеличение затрат на развитие «сквозных» цифровых технологий; Э-2 – увеличение объема выручки проектов (разработка наукоемких решений, по продвижению продуктов и услуг по заказу бизнеса) на основе внедрения технологий СЦТ «Новые производственные технологии» компаниями, получившими поддержку в рамках федерального проекта «Цифровые технологии»; Э-3 – количество РСТ-заявок по СЦТ «Новые производственные технологии», организациями, получившими поддержку в рамках национального проекта «Цифровая экономика»	Э-1 = 100%	Э-1 = 140%	Э-1 = 300%
		Э-2 = 100%	Э-2 = 150%	Э-2 = 250%
		Э-3 = 100%	Э-3 = 140%	Э-3 = 300%
Манипуляторы и технологии манипулирования	Разработаны технологии, обеспечивающие деликатное манипулирование с точностью 0,1 мм усилием 1 Н и скоростью 0,1 м/с; 2. Т-1 – скорость деликатного манипулирования, м/с;	Т-1 = 0,1 м/с		Т-1 = 1 м/с
	Э-1 – увеличение численности сотрудников робототехнических компаний – 4. интеграторов, количество сотрудников	Э-1 = 200	Э-1 = 400	Э-1 = 1 000
	Э-1 – рынок промышленных робототехнических систем (млрд руб.)	Э-1 = 8	Э-1=25	Э-1=30
	Э-1 – количество роботов, задействованных в производстве, на 10 000 работников	Э-1 = 4	Э-1 = 20	Э-1 = 40
	Э-2 – годовой объем поставок промышленных роботов в России, шт.	Э-2 <1 000	Э-2 = 1 700	Э-2 = 4 600

Таким образом, разработка и внедрение субтехнологий, входящих в СЦТ НПТ, является необходимым условием для присутствия отечественных компаний на глобальных высокотехнологичных рынках, для которых характерны смещение «центра тяжести» в конкурентной борьбе на этап разработки высокотехнологичной продукции, повышение уровня ее наукоемкости, сокращение сроков вывода новой продукции на рынок, жесткие ограничения по издержкам, высокие требования к потребительским характеристикам.

Однако внедрение на предприятия является проблематичным по нескольким причинам.

Основные проблемы внедрения технологии Digital Twin в России:

1. Недостаточное финансирование в НИОКР.

Согласно данным диаграммы, на НИОКР в стране тратится всего 1,1%, при этом на долю России в мировом потреблении ИКТ в корпоративном секторе приходится 1% Великобритании – 7%, Германии – 5%, Китая – 6%. Объем инвестиций частных компаний в цифровизацию в России составляет 2,2% ВВП, в Западной Европе – 3,9%, в США – 5%.

2. Дефицит квалифицированных специалистов и необходимость пересмотра программ подготовки специалистов в вузах.

3. Высокую стоимость внедрения ИТ.
4. Наиболее востребованными на сегодня в российской промышленности являются технологии сбора, обработки и анализа больших данных [2].

Однако в условиях цифровизации, в частности в период четвертой промышленной революции, трехмерное моделирование получило более широкое распространение благодаря своей экономичности. В технологических процессах сборки и отработки промышленных изделий и устройств рассмотрено применение аддитивных технологий для изготовления 3D-макетов изделия в пластике для последующей его отработки, которое дает уменьшение расходов на опытно-конструкторские разработки или предпроектные исследования в 10–15 раз. Помимо улучшения технических характеристик моделируемого объекта, значительно сокращается время на преобразование информационной модели в трехмерную посредством использования аддитивных технологий Additive Manufacturing и Additive Fabrication.

Рассмотрим внедрение Digital Twin на примере компании «Содис Лаб» [6].

СОДИС Лаб – **лучшая BIM-компания России 2021 года** (по оценке экспертов Autodesk). Благодаря использованию таких технологий, как цифровой двойник, цифровизация бизнес-процессов, технологии больших данных и искусственный интеллект, компания смогла осуществить запуск облачной платформы SODIS.IO, которая обеспечивает онлайн-доступ к данным мониторинга

несущих конструкций зданий на любом этапе строительства и эксплуатации. Решение позволяет использовать для подключения мобильные устройства и не требует развёртывания полноценной ИТ-инфраструктуры на строительной площадке. На сегодняшний день услугами компании пользуются такие клиенты как Росатом, Сбербанк, Сколково и т.д.

По заказу генерального проектировщика ГК «Содис Лаб» Главгосэкспертиза России разработала проектно-сметную документацию по информационному сопровождению строительства, включающую проектные решения по автоматизированным системам управления строительством, мониторингу и эксплуатации на основе цифровых двойников.

Модель сопровождает все этапы строительства от проектирования до ввода в эксплуатацию. Её также можно использовать позже с точки зрения управления и обслуживания объекта (facility management) Компания уже более 15 лет работает на рынке и реализует системы мониторинга и эксплуатации зданий, строительного контроля, антитеррористической защищённости, управления проектированием и административно-техническим документооборотом.

Помимо этой компании существует еще ряд крупных промышленных предприятий, использующих такие технологии, как Digital Twin, аддитивные технологии и другие тренды, которые только начинают появляться в российском обороте. Динамика эффективности внедрения представлена в таблице 6.

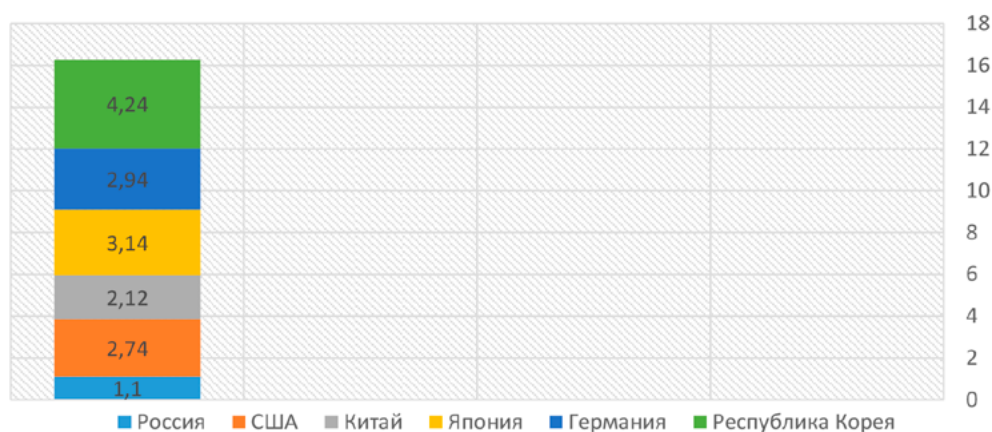


Рис. 2. Внутренние затраты на исследования и разработки, %

Таблица 3

Структура затраты на инновационную деятельность по данным Росстат

Показатель	Миллионов рублей		% к итогу	
	2019 год	2020 год	2019 г.	2020 г.
Затраты на инновационную деятельность – всего	984 315,5	1 168 528,8	100	100
в том числе:				
исследование и разработка новых продуктов, услуг и методов их производства (передачи), новых производственных процессов	334 972,4	447 839,4	34,0	38,3
приобретение машин, оборудования, прочих основных средств, связанных с инновационной деятельностью	382 252,4	408 973,2	38,8	35,0
маркетинг и создание бренда	2 898,2	4 732,1	0,3	0,4
обучение и подготовка персонала, связанные с инновационной деятельностью	1 132,3	1 074,6	0,1	0,1
дизайн	5 653,4	6 650,8	0,6	0,6
инжиниринг	123 381,3	107 020,4	12,5	9,2
разработка и приобретение программ для ЭВМ и баз данных, связанных с инновационной деятельностью	24 109,1	30 886,5	2,4	2,6
приобретение прав на патенты (отчуждение), лицензий на использование изобретений, промышленных образцов, полезных моделей, селекционных достижений, топологий интегральных микросхем и т.п.; патентование (регистрация) результатов интеллектуальной деятельности	5 790,0	34 085,5	0,6	2,9
планирование, разработка и внедрение новых методов ведения бизнеса, организации рабочих мест и организации внешних связей	4 599,7	2 927, 0	0,5	0,3
прочие затраты, связанные с осуществлением инновационной деятельностью	99 526,7	124 339,2	10,1	10,6

Таблица 4

Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг по данным Росстата [7]

Отрасль	Цифровые платформы	Большие данные	Технологии ИИ	Облачные сервисы	IoT	Цифровой двойник	Промышленные роботы /авт. линии	Аддитивные технологии
Добыча полезных ископаемых	13,2	21,8	2,5	19,0	14,6	2,1	4,2	1,5
Обрабатывающие производства	16,0	26,5	3,6	27,1	15,8	3,3	17,2	5,2
Обеспечение энергией, газом и паром, кондиционирование воздуха	16,6	23,7	3,3	19,4	15,9	1,2	2,0	1,1
Собирательная классификационная группировка видов экономической деятельности «Промышленность» (на основе ОКВЭД2)	15,4	24,8	3,3	23,9	15,3	2,5	11,3	3,6

Таблица 5

Перечень рисков и возможных ограничений развития заделов по СЦТ НПТ, создания перспективных российских решений на их базе

Направление	Риски	Ограничения
Законодательные и административные	Принятие нормативных правовых документов, увеличивающих налоговую и иную административную нагрузку	Административные барьеры / дефицит мер поддержки для внедрения субтехнологий СЦТ НПТ
	Увеличение срока принятия новых стандартов и регламентов	Отсутствие стандартов и регламентов, что затрудняет внедрение и масштабирование технологий СЦТ НПТ
	Сохранение зарегулированности (в части стандартов и требований к новым поставщикам) некоторых отраслей – потенциальных потребителей новых производственных технологий	Низкий спрос на технологии решения СЦТ НПТ со стороны потенциальных потребителей технологий
	Риски патентного давления при создании и использовании субтехнологий	Наличие патентов, ограничивающих развитие решений и функциональных элементов решений в рамках субтехнологий
Экономические	Риски снижения спроса на новые производственные технологии	Недостаток испытательных полигонов и пилотных площадок внедрения новых производственных технологий, дефицит фактической информации об экономических эффектах от внедрения, небольшое количество успешных практик внедрений, отсутствие мер поддержки, косвенно стимулирующих спрос на новые производственные технологии путем снижения стоимости их внедрения
	Снижение потенциала и потеря времени на разработку конкурентоспособных решений в условиях динамичной международной конкуренции	Наличие конкурентоспособных продуктов на мировом рынке: сложности вывода новых решений на мировой рынок, а также длительные сроки разработки новых продуктов
	Риски нехватки оборотных средств необходимых компании на исследования и разработки и пилотные внедрения	Длительный срок и высокие издержки внедрения новых производственных технологий, а также их окупаемости
Научные и кадровые	Разрывы инновационного цикла (фундаментальные и прикладные исследования – опытно-конструкторские разработки – испытание и внедрение комплексных технических решений)	Длительность инновационного цикла, ограничения, связанные с коммерциализацией и трансфером технологий
Социальные	Риски снижения квалификации кадров	Дефицит высококвалифицированных кадров, потребность в подготовке и переподготовке специалистов
	Усиление конкуренции за квалифицированные кадры с иностранными исследовательскими центрами и высокотехнологичными компаниями	Конкуренция за квалифицированные кадры с иностранными исследовательскими центрами и высокотехнологичными компаниями

продолжение табл. 5

окончание табл. 5		
Направление	Риски	Ограничения
	Снижение количества поступающих на профильные и востребованные специальности в рамках СЦТ	Высокая потребность рынка в кадрах, при относительно небольшом количестве выпускаемых ежегодно инженеров / дефицит кадров со средней квалификацией и рабочих
	Рост различий в «онтологии» / понимания сути новых производственных технологий	Недостаток информации о технологиях СЦТ НПП, различное понимание ключевыми стейкхолдерами сути технологий СЦТ НПП, что затрудняет формирование общего видения развития профильных технологий

Таблица 6

Динамика внедрения IT-проектов в крупных промышленных компаниях

Компания	Выручка от IT-проектов в промышленности, млн руб.		2020 г к 2019 г, %	Крупнейшие клиенты
	2020 г.	2019 г.		
Сател	760,3	886	0,87	«Русал», «НК «Роснефть», «МРСК Сибири», «Новатэк», «Уралкалий», «Боксит Тимана», «ГМК Норильский Никель», «ОХК Уралхим», «Берингпромуголь»
Парус	569	434	31,1	«Сетевая Компания», АК «Рубин», «СУЭК»
GMCS	733	633	15,8	Магнитогорский металлургический комбинат, АЛРОСА, СОКАР ЭНЕРГОРЕСУРС, Роскосмос, Центр корпоративных решений
ГК ITPS	1815,5	1534,7	18,3	ГК «Лукойл», «Газпромнефть», «ТНГ-Групп»
Лига Цифровой Экономики	2230	1647	35,4	Норникель, Фосагро, Уралхим, Полус, Северсталь, СПК, Алмаз-Антей
СОДИС Лаб	12,3	8,7	-40	Росатом, Сбербанк, Сколково
red_mad_robot	213,6	186,5	14,5	НЛМК, Эррайвал Рус, Северсталь-Инфоком, ММК, Тойота Мотор
ДиСиЛоджик	547,4	648,2	-15,6	«ГМК «Норильский никель», «Новолипецкий Металлургический Комбинат», «Норильский обеспечивающий комплекс»
ХайТэк	285,4	598,7	52,3	-
Айтеко	2555,3	3899,2	-34,5	
Сервионика	24	91	-73,6	Апатит, Сибур

Согласно аналитическим данным, из представленных отечественных компаний, использующих тренды цифровизации, в том числе Digital Twin, 63,6% получили положительные темпы роста благодаря применению IT-проектов в промышленном производстве, и 36,4% – отрицательные [3].

Причиной отрицательных показателей может быть нарушение этапов разработки сквозной технологии, а именно:

- Цифровые (виртуальные) испытания, цифровые (виртуальные) стенды, цифровые (виртуальные) полигоны.
- Формирование многоуровневой матрицы требований, целевых показателей и ресурсных ограничений.
- Адекватность модели
- Цифровая платформа CML-Bench™.
- Математические модели, компьютерные модели, цифровые модели.
- Суперкомпьютерные технологии, высокопроизводительные (HPC) и высокопродуктивные (HP*С) вычисления.
- Generalized Model-Based Systems Engineering.
- Верификация & Валидация (V&V) математических и компьютерных моделей, а также численных результатов.
- Мультидисциплинарное численное моделирование и применение технологий оптимизации (CAE & CFD & CAO).
- Все стадии жизненного цикла изделия.

«Если мы пропустим часть этапов, то тогда о цифровом двойнике речь не может идти», – отметил также в своем выступлении Алексей Боровков.

По прогнозу Центра компетенций НТИ «Новые производственные технологии» СПбПУ 2025 году сегмент цифрового инжиниринга вырастет в 2,8 раза и составит 53% общего объема глобальных затрат на ER&D (по сравнению с 30% в 2019 году). Количество организаций, использующих цифровые двойники, увеличится в 3 раза в 2022 году.

Результаты исследований и их обсуждение

Продвижение сквозных цифровых технологий и субтехнологий является достаточно сложной задачей в силу того, что аддитивные технологии и другие тренды, которые только начинают появляться в российском обороте недостаточно ин-

вестируются со стороны государства. Это связано с экономическими, социальными, законодательными и научно-кадровыми рисками. Однако существует тенденция увеличения количества компаний, использующих новые IT- проекты и цифровые двойники за счёт поэтапного выстраивания разработки сквозной технологии.

Выводы

Таким образом, рассмотренные примеры и тенденции развития их сферы деятельности с использованием трендов сквозных технологий доказывают актуальность и подтверждают экономическую значимость последних. В настоящее время процесс реализации трендов цифровизации замедляют такие факторы, как:

1. Длительный срок и высокие издержки внедрения новых производственных технологий, а также их окупаемости.
2. Высокая потребность рынка в кадрах и недостаточное количество поступающих на направления, связанных с СЦТ.
3. Отсутствие стандартов и регламентов, что затрудняет внедрение и масштабирование технологий СЦТ НПТ и низкий спрос на технологии решения СЦТ НПТ со стороны потенциальных потребителей технологий, следствием чего является недостаточное финансирование со стороны государства.
4. Разрывы инновационного цикла.

Наиболее эффективно развитие по приоритетным направлениям реализуется при выполнении комплексных проектов по созданию высокотехнологичных продуктов, что отразится в достижении следующих эффектов:

1. Создание экосистемы цифровой экономики РФ, в которой цифровой формат данных является ключевым фактором производства.
2. Переход к новым бизнес-моделям на базе виртуальных полигонов и стендов.
3. Создание экспортно-ориентированного сектора обрабатывающих секторов производства, развивающегося на основе трендов СЦТ.

Практика отечественных компаний показывает, что переход от стандартных способов автоматизации к более новым пусть и сложный, но в своем большинстве демонстрирует положительные темпы роста, приводя тем самым ключевые отрасли экономики к цифровой зрелости.

Библиографический список

1. Национальная промышленная премия «Индустрия», Екатеринбург, 2022 год. [Электронный ресурс]. URL: <https://expo.innoprom.com/> (дата обращения 15.12.2022).
2. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» – 2019 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019npt.pdf> (дата обращения 15.12.2022).
3. Цифровой двойник Digital Twin of Organization, DTO, 2021 год. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%BA_\(Digital_Twin_of_Organization,_DTO\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%BA_(Digital_Twin_of_Organization,_DTO)) (дата обращения 15.12.2022).
4. Гаранин М.А. Влияние «цифровых двойников» на экономику общественного сектора // Креативная экономика. 2018. № 11. С. 1733-1758.
5. «Цифровые двойники – это вершина, к которой все стремятся»: Алексей Боровков выступил с лекцией в Школе управления СКОЛКОВО, 2022 год. [Электронный ресурс]. URL: <https://nticenter.spbstu.ru/news/8023> (дата обращения 15.12.2022).
6. Как работает цифровой двойник. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sodislab.com/ru/digitaltwin> (дата обращения 15.12.2022).
7. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b21_48/Main.htm (дата обращения 15.12.2022).
8. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности», 2019 год. [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019vrag.pdf> (дата обращения 15.12.2022).
9. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Системы распределенного реестра», 2019 год. [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019srr.pdf> (дата обращения 15.12.2022).