

## ИНДУСТРИЯ 4.0: ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### INDUSTRY 4.0: APPROACHES AND PROSPECTS FOR USE IN LIGHT INDUSTRY

Л.Б. ЗОРИН, Н.В. ЗОРИНА, В.А. ХОЛОПОВ

L.B. ZORIN, N.V. ZORINA, V.A. KHOLOPOV

(Российский технологический университет – РТУ МИРЭА)

(Russian Technological University – MIREA)

E-mail: 1rm5482@bk.ru; 2zorina\_n@mail.ru; 3holopov@gmail.com

*Изменения, связанные с технологическим прогрессом, происходящие в мире затрагивают все отрасли, отрасль легкой промышленности не является исключением. На состояние отрасли оказала негативное влияние пандемия COVID-19. В статье рассматриваются с концептуальной точки зрения процессы изменений, происходящие на промышленных предприятиях, вызванных Индустрией 4.0. Использование преимуществ, которые дает применение концепции Индустрия 4.0 для цифровой трансформации производства, позволит модернизировать отрасль, чтобы защитить ее от влияния негативных факторов, связанных с нестабильностью спроса, демографией, дефицитом ресурсов. Для устойчивого развития отрасли легкой и текстильной промышленности, а также модной индустрии необходимо разработать технологии адаптации механизмов функционирования предприятий отрасли к внедрению сквозных технологий цифровой экономики, таких как технология беспроводной связи и промышленного Интернета, облачных вычислений, распределенных вычислений, киберфизических систем, аналитики на основе больших данных и машинного обучения, распределенного реестра, виртуальной и дополненной реальности, применения киберфизических систем. В статье рассматриваются способы организации современного производства на основе подходов Индустрии 4.0. Описываются подходы к трансформации производства на основе моделей "цифровой", "умной" и "виртуальной" фабрик и определяются обеспечивающие их технологии. Модель устойчивого производства соответствует типу виртуальной фабрики, а реализацию такой модели можно представить в виде интеграции распределенной сети акторов - предприятий участников цепочки создания стоимости. В качестве модели комбинированной архитектуры современного предприятия предлагается использовать модель с многослойной архитектурой: слой данных, технологический слой, слой представления. Предлагается систему, которая будет функционировать на основе такой бизнес-модели, классифицировать как сложную систему с нелинейным поведением. В качестве методологии для исследования такого рода систем предлагается использовать методы системного анализа и математического моделирования, в том числе имитационного моделирования, а для создания адаптивной системы промышленного предприятия предлагается использовать параметризованную модель для представления цифровых двойников. В статье отмечается роль коллаборации ведущих университетов и*

*высокотехнологичных предприятий для подготовки интеллектуально-креативной молодежи в качестве кадров для инноваций. Определяются направления будущих исследований и ставятся исследовательские задачи для проведения цифровой трансформации (Digital Transformation) производства. Фабрика будущего – это конвергенция цифровой, умной и виртуальной фабрики.*

*In this article, from a conceptual point of view, the processes of changes occurring in industrial enterprises caused by Industry 4.0 are considered. For the sustainable development of the light and weaving industry, as well as the fashion industry, it is necessary to develop technologies for adapting the functioning mechanisms of industry enterprises to the introduction of end-to-end technologies of the digital economy: wireless communication technology and industrial Internet, cloud computing, distributed computing, cyber-physical systems, analytics based on big data and machine learning, distributed registry, virtual and augmented reality, cyber-physical systems. The methods of organizing modern production based on the approaches of Industry 4 are considered. In the form of models of "digital", "smart" and "virtual" factories, and the supporting technologies are determined. As a model of the combined architecture of a modern enterprise, it is proposed to use a model with a multilayer architecture. The role of the collaboration of leading universities and high-tech enterprises for the training of intellectual and creative youth as personnel for innovation is noted. The directions of future research are determined and research tasks are set for the digital Transformation of production.*

**Ключевые слова:** легкая, текстильная промышленность, современное производство, Индустрия 4.0, технологические изменения, цифровое производство, цифровая трансформация, цифровые двойники, умная фабрика, виртуальная фабрика.

**Keywords:** light and textile industry, advanced manufacturing, Industry 4.0, technological changes, digital manufacturing, digital transformation, digital twins, smart factory, virtual factory.

#### *Введение*

Будущее экономики определяется мегатрендами, которые затронули такие сферы, как глобализация, бережливое потребление, растущая скорость изменений, цифровизация коммуникаций, социальная трансформация, технологии и инновации. Отрасль промышленного производства не исключение, на нее оказывают влияние и демография, и дефицит ресурсов, изменения климата, динамические изменения в применяемых технологиях и используемые инновации и еще ряд факторов [1].

Для предприятий важно, чтобы новая продукция поступала на рынки в кратчайшие сроки и соответствовала запросам потребителей, а меняющиеся рынки требуют гибкости и рационального и эффективного

использования ресурсов и энергии, и все это без ущерба для качества производимой продукции. Современное цифровое предприятие может быстрее реагировать на потребности рынка и получать конкурентное преимущество [1], [2].

Легкая, текстильная промышленность и модная индустрия – одни из самых устойчивых отраслей в мире. Только в 2020 г. рынок модной индустрии сократился на четверть, до 1,71 триллиона рублей. Текстильная промышленность, швейное производство, массмаркет, платформы для электронной коммерции представляют собой единую бизнес-систему, центральным элементом которой является модная индустрия. Соответственно падение покупательского спроса влияет на положение

всей легкой и текстильной промышленности в целом. Кризис, вызванный пандемией, негативно повлиял на динамику потребления и разрушил производственные связи [3], [4]. Для нивелирования негативных факторов требуется разработать концепцию долговременного устойчивого развития на основе перспективной устойчивой бизнес-модели для этих отраслей, этому на сегодняшний день способствует ряд факторов. В качестве внутреннего фактора можно назвать действия государства, которое дало возможность увеличить долю внутреннего продукта за счет квот на закупки госкомпаниями 251 вида отечественных товаров в 2021 - 2023 гг. и не меньше 50...90 процентов от всех закупок.

В качестве внешнего фактора можно назвать достижение зрелости технологиями, например, такими как технология беспроводной связи и промышленного Интернета, облачных вычислений, распределенных вычислений, киберфизических систем, аналитики на основе больших данных и машинного обучения, распределенного реестра, виртуальной и дополненной реальности, которые обеспечивают сквозную цифровизацию при создании гибкого цифрового производства в соответствии с концепцией Индустрии 4.0 [4], [5]. Некоторые из этих технологий вошли в "Дорожные карты" развития сквозных цифровых технологий в РФ и были утверждены президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности в октябре 2019 г.

#### *Основные принципы Индустрии 4.0*

Провозглашение четвертой промышленной революции как концепции Индустрии 4.0 предусматривает новый подход к организации производства, диктующий переход от автоматизированного производства (англ. – Computer-integrated Manufacturing, предыдущего этапа развития промышленности, именуемого теперь как "Индустрия 3.0") к функционированию производственных систем с использованием интернет-технологий, обеспечивающих ком-

муникации между людьми, машинами и продуктами, и также от традиционных централизованных структур управления фабриками и промышленными предприятиями к децентрализованным формам управления [6]. По сути, Индустрия 4.0 представляет из себя системный подход к организации производства, который представляет интеллектуальную интеграцию людей и машин в реальном времени с объектами и системами информационных и коммуникационных технологий ("цифровизация") для обеспечения гибкого и динамического управления сложными системами [6], [7].

Фактически для современного предприятия, функционирующего в соответствии с принципами Индустрии 4.0 создание сетей стоимости происходит через интеграцию киберфизических систем, используемых на производстве и в логистике и применение интернета вещей в промышленных процессах (промышленный интернет вещей). Это взаимодействие влияет на все этапы для цепочки создания стоимости товара или услуги, а также на модели ведения бизнеса, предоставляемые услуги и на всю производственную среду в целом.

Современные системы промышленной автоматизации состоят из ряда физических компонентов, представляющих собой промышленное оборудование, то есть станки и технику для выполнения производственно-технологических операций, а подключенные к этим устройствам и/или встроенные в них компьютеры в сочетании с программными системами контролируют и отслеживают производственный процесс, получая и анализируя входные данные и регулируя работу по результатам произведенных вычислений [7]. Из-за увеличения внешней сложности, проистекающей из мегатрендов, описанных выше, и внутренней сложности, таких как увеличение портфелей продуктов, клиентов и поставщиков, новых материалов, производственных процессов и ИТ-систем, производственные компании должны сбалансировать внутреннюю и внешнюю сложность, чтобы оставаться конкурентоспособными. Уравновешивание увеличения ассортимента продукции и уменьшения производственных партий

усложняет централизованно управляемую производственную систему. В данном случае децентрализация управления способствует снижению сложности таких систем. Использование принципов концепции Индустрии 4.0 для производства – это фактически создание сложной интеграции киберфизических систем с системами промышленной автоматизации. Причем эта интеграция систем, столь разных по своей природе, направлена на создание производств, на которых люди и машины действуют согласованно в реальном времени.

Модернизация традиционных секторов экономики, к которым исторически относятся легкая и текстильная промышленность требует внедрения инноваций Индустрии 4.0 за счет применения новых технологий, таких как "цифровые двойники", облачные вычисления, Dig Data, хранение и обработка данных, автоматизация рабочих мест, предиктивная аналитика, мобильные технологии и цифровые коммуникации, 3D-печать, 3D-сканеры и др., которые весьма различаются между собой. Необходим переход от систем промышленной автоматизации на производстве к системам, интегрирующим всю цепочку создания стоимости, соответствующим концепции Индустрии 4.0.

В связи с этим вопрос заключается в том, какие технологии адаптации требуется разработать для механизмов функционирования предприятий легкой промышленности, чтобы внедрить сквозные технологии цифровой экономики и определить, какие из них играют первостепенную роль в цифровизации отраслей легкой и текстильной промышленности, а также модной индустрии [3].

#### *Цифровизация производства*

Цифровое производство, это общий термин, который относится к цифровым моделям, которые реплицируются аспектами конкретного физического производства, будь то фабрика или завод. Он включает в себя ряд методов и инструментов, управление которыми осуществляется с помощью интегрированных систем управления данными. Эти методы и инструменты также

включают моделирование и 3D-визуализацию.

Фабрики будущего – это и "цифровые" фабрики (Digital Factory), и так называемые "умные" фабрики (Smart Factory) и "виртуальные" фабрики (Virtual Factory). Основная цель внедрения цифровой фабрики – всестороннее планирование, постоянная оценка и улучшение реальной фабрики, которая производит продукт.

Цифровое производство фокусируется на следующем.

1. Повышение качества планирования и экономической эффективности.
2. Более короткое время выхода на рынок.
3. Четкие коммуникации.
4. Единые стандарты планирования.
5. Эффективное управление благодаря знаниям .

Для цифровой фабрики (синоним цифровое производство) основные процессы выполнения операций базируются на процессах создания продукта, его моделировании и симуляции и благодаря технологическим решениям по комплексной автоматизации. Авторы статьи [8] определяют цифровое производство как производство, которое "...должно включать в себя не только традиционные технологические процессы изготовления, но также средства численного моделирования, трехмерной визуализации, инженерного анализа и другие системы, предназначенные для разработки продукции".



Рис. 1

Преимуществом является то, что в кратчайшие сроки новая продукция проходит все этапы, начиная от проектирования и разработки, когда закладываются базовые принципы изделия, и заканчивая созданием цифрового макета (англ. Digital Mock-Up, DMU), "цифрового двойника" (Smart Digital Twin) [9]. Таким образом, производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения быстро проходит все: от стадии исследования и планирования до опытного образца или мелкой серии ("безбумажное производство", сквозная цифровизация). Для современной цифровой фабрики характерно наличие "умных" моделей производимой продукции или производственных мощностей (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.) на основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования Smart Digital Twin [9]. Цифровая фабрика отличается от обычной фабрики в первую очередь эффективным производством, которое характеризуется оптимизацией потерь через применение слабо интегрированных технологий. Характерные черты такого производства – наличие базовой автоматизации, роботизация, использование передовых материалов и технологий производства, наличие сенсоров, "зеленое" и адаптивное производство [7].

Другой тип производства – это так называемые фабрики будущего или "умные" фабрики. Для умной фабрики основные процессы выполнения операций базируются на конвергенции ИКТ и автоматизации, киберфизических систем и роботов [10] (рис. 1 – конвергенция фабрик будущего). Для работы "умной" фабрики используются результаты работы цифровых фабрик. Такая фабрика подразумевает наличие оборудования для автоматизированного и роботизированного производства – станков с числовым программным управлением, промышленных роботов и т. д., а также автоматизированных систем управления технологическими процессами (Industrial Control System, ICS) и систем оперативного управления производственными процессами на уровне цеха (Manufacturing Execution System, MES).

Согласно концепции Индустрия 4.0 цифровое производство использует несколько типов оборудования, связанного с Интернетом вещей (IIoT), и все они интегрированы в единую экосистему. Эта экосистема включает в себя как внутренние функции, так и внешних участников, от отделов аналитики, поставок материалов, продаж, закупок, проектирования и производства, дистрибуции, послепродажного обслуживания, а также утилизации и переработки, то есть все производственные связи от систем цепочки поставок до клиентов.

"Умные" фабрики – это фабрики, которые управляются знаниями, полученными из данных. Создание так называемой "умной" фабрики – это конкретное развертывание Индустрии 4.0 в виде модульной, саморегулирующейся (самоадаптирующейся) и цифровой интегрированной системы со всеми бизнес-функциями как внутри, так и за пределами организации производства. Интеллектуальное производство состоит из интеллектуальных сенсорных и взаимодействующих систем (кибер-физическая система) для создания контекстно-зависимых производственных процессов и интеграции этой системы на основе информационно-коммуникационных технологий по всей цепочке создания стоимости продукта, сети создания стоимости и жизненному циклу продукта. Интеллектуальная система мониторинга на основе данных с использованием технологии нейронных сетей позволит отслеживать технологические процессы на производстве и снижать количество брака [11]. Само понятие "Умная фабрика" основано на переносе идеи повсеместных (беспроводных) вычислений, представленной в 1991 г. Марком Вейзером в промышленном контексте. Для такого производства характерно создание не только цифровых двойников или виртуальных прототипов производственных процессов или изделий, но и цифровых двойников потребителей. Используемые для умного производства технологии, представленные на рис. 2, – это технологии по автоматизации, технологии цифровизации и технологии использования сетей.



Рис. 2

Благодаря предиктивной аналитике на основе анализа больших данных и машинного обучения можно будет спрогнозировать спрос, провести таргетирование рынка и определить категории пользователей для рынка сбыта, то есть осуществлять производство по запросу. Для представления готовой продукции на таком производстве характерны не онлайн витрины с фотографиями изделий, как в современных интернет-магазинах, а представленные цифровые двойники изделий. Эти цифровые двойники представляют 3D объекты и дают вполне реалистичное представление о производимой продукции для потенциальных потребителей. Например, такое программное обеспечение, как CLO 3D-design<sup>1</sup>, позволяет не только проектировать лекала, но и создать визуализацию образа фотографического качества и видео и демонстрацию на виртуальной модели, которую можно подобрать из стандартного набора платформы или смоделировать индивидуально на свой вкус.

Умная фабрика характеризуется наличием интеллектуальной автоматизации, использованием аналитики, использованием имитационного моделирования и/или симуляции, больших данных и /или локаль-

<sup>1</sup> программное обеспечение для проектирования одежды на основе реалистичного моделирования <https://www.clo3d.com/>

<sup>2</sup> Advanced control – расширенный контроль, используется для удаленного мониторинга оборудова-

ных облаков, наличием IoT и систем расширенного контроля.<sup>2</sup>



Рис. 3

Используя цифровых двойников потребителей продукции и их цифровые следы, то есть сведения о предпочтениях потребителей, их стилях жизни и предыдущих покупках, предприятие сможет минимизировать возврат товаров и обеспечить степень удовлетворенности пользователя оказанной услугой или проданным товаром. Преимущества очевидны – с помощью прогнозирования потребления можно избежать затоваривания и нерациональных расходов на производство, тем самым максимизировать прибыль. Виртуальная фабрика пред-

ния, получения данных с завода, поиска и устранения неисправностей, управления состоянием оборудования.

полагает абсолютно новый менеджмент на основе распределенной производственной цепочки, виртуальную модель, которая включает сайты производителей, сложные цепочки поставок, включая логистику и материальные потоки, а также продажи и послепродажное обслуживание.

Так называемые "виртуальные" фабрики (рис. 3) – это комплексное решение по объединению цифровых и/или умных фабрик в распределенную сеть, обеспечивающее производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения. Такая фабрика подразумевает создание информационной системы управления предприятием (Enterprise Application Systems, EAS), где различные этапы создания стоимости представлены в виде глобально-распределенной цепочки поставок.

Главное отличие виртуальной фабрики от умной – это виртуальная цепочка создания стоимости. Для такой фабрики характерно наличие сети цифровых двойников, интегрированное облако, кибербезопасность, решениям E2E для больших данных, E2E аналитика (сквозная аналитика).

Фабрики будущего – это конвергенция цифровой, умной и виртуальной фабрики.

*Рекомендации по организации производства с использованием сквозной цифровизации*

Основной отраслью легкой промышленности является текстильная промышленность, которая представляет из себя массовое поточное производство, то есть характеризуется изготовлением отдельных видов продукции в больших количествах на узкоспециализированных рабочих местах в течение продолжительного периода. Характерные черты такого рода производства – редко изменяемая номенклатура изготавливаемой продукции, узкоспециализированные рабочие места при выполнении одной постоянно закрепленной операции, а также применение специального оборудования, небольшая трудоемкость и длительность производственного процесса. Для того рода производства характерно наличие материальных запасов как комплектующих, так и запасов готовой продукции. Такое производство будет экономически целесообраз-

ным при достаточно больших объемах выпуска продукции и устойчивом спросе на продукцию и чувствительно к колебаниям спроса на продукцию. Колебания потребительского спроса в условиях экономического кризиса, вызванного пандемией, сделали массовое производство в той нынешней бизнес-модели, которая сейчас применяется, чрезвычайно уязвимым. Для развития отрасли необходимо использовать устойчивую бизнес-модель в виде децентрализованного распределенного производства. Такой модели производства в ИКТ соответствует модель распределенной обработки данных, которая трансформировалась из традиционной "облачной" модели обработки данных IoT (Internet of Things) к распределенной обработке прямо на устройствах IIoT (промышленный интернет, англ. Industrial Internet of Things). Применение данной модели позволяет оптимизировать не только производственные процессы, но также процессы хранения и транспортировки грузов. Для успешного проведения цифровой трансформации в промышленных компаниях необходимо решить в первую очередь следующие задачи:

- ввести формат и стандарты прототипа цифрового двойника технологического изделия, промышленного производства или фабрики; такой цифровой двойник должен быть согласован со слоями информационных технологий Эталонной модели архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0).

- ввести формат и стандарты цифрового двойника профиля потребителя;

- создать соответствующую платформу или фреймворка, которая будет обеспечивать масштабируемый слой данных, доступный, с одной стороны, через API различным киберфизическим устройствам, приложениям и сервисам и, с другой стороны, через интерфейс конечным пользователям и разработчикам;

- разработать эталонную модель гибкой архитектуры предприятия.

В качестве модели комбинированной архитектуры современного предприятия предлагается использовать модель с многослойной архитектурой, где нижний слой представляют данные (Data Fabric), собран-

ные с помощью единой и согласованной инфраструктуры (уровень данных в виде сервиса доступа к распределенным данным), к которой можно получить доступ с помощью технологии интернета вещей (Internet of Things), а также благодаря средствам сбора, хранения и расширенной аналитики на основе больших данных (Big Data) с алгоритмами машинного обучения (Machine Learning) и другими методами интеллектуального анализа данных (слой приложений), а на верхнем уровне – уровне управления (слой представления) ключевую роль будет играть управление на основе данных (data-driven management).

В работе [11] отмечается, что "...в настоящее время высокотехнологичные предприятия сталкиваются со сложностями повышения инновационной активности, которые обусловлены в первую очередь необходимостью значительного финансирования, однако существенный срок возмещения не привлекает инвесторов" [12]. Для снижения рисков по разработке высокотехнологичных предприятий, а предприятия нового типа – виртуальные фабрики – можно отнести именно к такого рода производствам, имеет смысл создавать виртуальные модели будущего производства, своего рода виртуальные опытные образцы. В той же работе [11] авторы делают акцент на "...тенденции развития интеграционных связей ведущих университетов и высокотехнологичных предприятий..." и отмечают, что "...в таких коллаборациях происходит формирование и становление интеллектуально-креативной молодежи, которая может создавать инновации для высокотехнологичных производств". Созданная в РТУ МИРЭА в 2021 г. лаборатория Математического моделирования и создания компьютерных двойников роботизированного производства в составе межинститутского учебного центра "Индустрия 4.0: Цифровое роботизированное производство" как раз позволяет создавать виртуальные модели промышленного производства и проводить моделирование всего производственного цикла. Задачами лаборатории являются формирование навыков самостоятельного проектирования промышленных систем

управления, а также моделирование и создание виртуальных двойников роботизированных комплексов.

## ВЫВОДЫ

Цифровые технологии играют важную роль в поддержании работы экономик стран и общества во время пандемии, хотя ряд отраслей серьезно пострадали, в том числе отрасль легкой промышленности. Для дальнейшего научного исследования перспективным направлением является изучение подходов к организации построения заводов нового поколения. В статье рассмотрены три перспективные модели производства: цифровая фабрика, умная фабрика и виртуальная фабрика. Для каждой модели производства определены обеспечивающие технологии. В настоящее время отмечается зрелость информационных технологий, позволяющих обеспечить цифровую трансформацию производства. Для динамичного развития отрасли в будущем и получения конкурентных преимуществ необходимо создать устойчивое производство на основе создания и внедрения устойчивой бизнес-модели. Особенность устойчивой модели состоит в том, что цепочка создания стоимости должна включать не только затраты на создание продукта, но также все отношения, со всеми заинтересованными сторонами – стейкхолдерами. Такая модель соответствует типу виртуальной фабрики, а реализацию такой модели можно представить в виде интеграции распределенной сети акторов – предприятий участников цепочки создания стоимости. Систему, которая будет функционировать на основе такой бизнес-модели, можно классифицировать как сложную систему с нелинейным поведением. В качестве методологии для исследования такого рода систем предлагается использовать методы системного анализа и математического моделирования, в том числе имитационного моделирования, а для создания адаптивной системы промышленного предприятия предлагается использовать параметризованную цифровую модель объекта производства, с одной стороны, и парамет-

ризованную цифровую модель потребителя, с другой стороны. Также для проведения цифровой трансформации (Digital Transformation) производства необходимо разработать прототипы цифровых аналогов продуктов производства, машин, процессов и потребителей, определить структуру технологического стека и разработать фреймворк.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лихтенхалер У. Дигитализация: совокупный эффект цифровизации и устойчивости мегатрендов // Журнал управления инновациями (JIM) Том 9. №2 (2021) с.64-80, опубликовано 12 августа 2021 г., [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_009.002\\_0006](https://doi.org/10.24840/2183-0606_009.002_0006)

2. Фромхолд-Айзебит М., Маршалл Ф., Питерс Р., Томас П. Разрыв между оцифрованным будущим и контекстно-зависимым прошлым - Как внедрение технологий производства "Индустрия 4.0" может трансформировать немецкую текстильную промышленность // Технологическое прогнозирование и социальные изменения. — Том 166, май 2021 года, 120620 Том 166, Май 2021, [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120620>

3. Квашнина И.А. Влияние пандемии Covid-19 на мировую экономику и потоки прямых иностранных инвестиций // Вестник Института экономики Российской академии наук. — 2020, №4. С.166...175. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43916760>

4. Хайтанова М.М., Лускатова О.В., Горшкова Е.В. Риски предприятий текстильной промышленности и пути их минимизации // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 2021, №2. С.28...33. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46105454>

5. Chen X. and Han T. Disruptive Technology Forecasting based on Gartner Hype Cycle. 2019 IEEE Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON)ю — 24 June 2019. P. 1...6. URL: <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2019.8813649>.

6. Гриша Бейер и др. Индустрия 4.0: как это определяется с социотехнической точки зрения и насколько устойчиво оно включает // литературный обзор Эливвер Журнал чистого производства. — Т.259, 20 июня 2020, 120856 (опубликовано 20/06/2020) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120856> / (Дата обращения: 13.09.2021).

7. Шроуф Ф., Ордьерес Дж., Мираглиотта Дж. Умные фабрики в Индустрии 4.0: обзор концепции и подхода к управлению энергопотреблением в производстве на основе парадигмы Интернета вещей //Междунар. конф. IEEE 2014 года по промышленной инженерии и инженерному менеджменту. — Селангор Дарул Эхсан IEEE, Малайзия (2014), стр. 697- 701, [Электронный ресурс]. Режим доступа: —

DOI: 10.1109 / ИЕМ.2014.7058728 (Дата обращения: 16.09.2021).

8. Холопов В.А., Каширская Е.Н., Кушнир А.П., Курнасов Е.В., Рагуткин А.В., Пирогов В.В. Развитие цифрового машиностроительного производства в концепции Индустрии 4.0 // 2018, Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2018, № 4. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: <https://doi.org/10.3103/S1052618818040064>

9. Холопов В.А., Антонов С.В., Каширская Е.Н. Применение концепции цифрового двойника для решения задачи мониторинга технологического процесса в машиностроении // Междунар. российская конф. по автоматизации 2019 (РусАвтоКон). — 2019. С. 1...5, [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867800>

10. Холопов В.А., Каширская Е.Н., Шмелева А.Г. и др. Интеллектуальная система мониторинга выполнения процессов машиностроения // Журнал машиностроения и надежности. — 2019, 48. С.464...475. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — URL: <https://doi.org/10.3103/S1052618819020079>

11. Зорина Н.В. и др. Общие принципы формирования сложных цифровых систем на основе анализа и развития конвергентных технологий Современные информационные технологии и ит-образование // Сб. научн. тр. III Междунар. науч. конф.: Конвергентные когнитивно-информационные технологии и XIII Междунар. научн.-практ. конф.: Современные информационные технологии и ИТ-образование". — М., [Электронный ресурс]. Режим доступа: — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38581935> (Дата обращения: 16.09.2021).

12. Мандыч И.А., Быкова А.В. Тренды инновационно-инвестиционного развития высокотехнологичных предприятий // Российский технологический журнал. — 2019;7(5):79-92. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.rti-jmirea.ru/jour/article/view/173/173> <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-5-79-92>

#### REFERENCES

1. Lichtenhaler U. Digitalization: the cumulative effect of digitalization and the sustainability of megatrends // Journal of Innovation Management (JIM) Vol.9. No. 2 (2021) p. - Access Mode: - URL: [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_009.002\\_0006](https://doi.org/10.24840/2183-0606_009.002_0006)

2. Fromhold-Isebit M., Marshall F., Peters R., Thomas P. The gap between the digitized future and the context-dependent past - How the introduction of Industry 4.0 production technologies can transform the German textile industry // Technological forecasting and social changes. - Volume 166, May 2021, 120620 Volume 166, May 2021, [Electronic resource]. — Access mode: — URL: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120620>

3. Kvashnina I.A. Impact of the Covid-19 pandemic on the world economy and foreign direct investment flows // Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences. - 2020, No. 4.

C.166...175. [Electronic resource]. — Access mode: — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43916760>

4. Khaitanova M.M., Luskatova O.V., Gorshkova E.V. Risks of textile industry enterprises and ways to minimize them // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. - 2021, No. 2. P.28...33. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46105454>

5. Chen X. and Han T. Disruptive Technology Forecasting based on Gartner Hype Cycle. 2019 IEEE Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON) - 24 June 2019. P. 1...6. URL: <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2019.8813649>.

6. Grisha Beyer et al. Industry 4.0: how it is defined from a sociotechnical point of view and how stable it includes // literature review *Elsiver Journal of Cleaner Production*. - T.259, June 20, 2020, 120856 (published on 06/20/2020) [Electronic resource]. - Access mode: - URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120856> / (Access date: 09/13/2021).

7. Shrouf F., Ordières J., Miragliotta J. Smart factories in Industry 4.0: a review of the concept and approach to energy management in manufacturing based on the Internet of things paradigm // *International. conf. IEEE 2014 in Industrial Engineering and Engineering Management*. – Selangor Darul Ehsan IEEE, Malaysia (2014), pp. 697-701, [Electronic resource]. Access mode: – DOI: 10.1109 / IEEM.2014.7058728 (Date of access: 16.09.2021).

8. V. A. Kholopov, E. N. Kashirskaya, A. P. Kushnir, E. V. Kurnasov, A. V. Ragutkin, and V. V. Pirogov, *Russ. Development of digital machine-building production in the concept of Industry 4.0 // 2018, Problems of mechanical engineering and reliability of machines*. - 2018, No. 4. [Electronic resource]. – Access mode: – URL: <https://doi.org/10.3103/S1052618818040064>

9. Kholopov V.A., Antonov S.V., Kashirskaya E.N. Application of the concept of a digital twin to solve the problem of monitoring the technological process in mechanical engineering. *Mezhdunar. Russian Conf. on Automation 2019 (RusAvtoCon)*. – 2019. S. 1...5, [Electronic resource]. Access mode: URL: <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867800>

10. Kholopov V.A., Kashirskaya E.N., Shmeleva A.G. et al. Intelligent system for monitoring the execution of mechanical engineering processes // *Journal of mechanical engineering and reliability*. – 2019, 48. P.464...475.[Electronic resource]. – Access mode: – URL: <https://doi.org/10.3103/S1052618819020079>

11. Zorina N.V. et al. General principles for the formation of complex digital systems based on the analysis and development of convergent technologies *Modern information technologies and IT education // Sat. scientific tr. III Intern. scientific Conf.: Convergent Cognitive Information Technologies and XIII Intern. scientific-practical Conf.: Modern Information Technologies and IT Education*". - M., [Electronic resource]. Access mode: – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38581935> (Date of access: 09/16/2021).

12. Mandych I.A., Bykova A.V. Trends in innovation and investment development of high-tech enterprises // *Russian Technological Journal*. – 2019;7(5):79-92. [Electronic resource]. Access mode: URL: <https://www.rtj-mirea.ru/jour/article/view/173/173> <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-5-79-92>

Рекомендована кафедрой промышленной информатики Института кибернетики. Поступила 28.10.21.