

УДК 330.341:629.73

<http://doi.org/10.35854/1998-1627-2022-6-584-594>

Разработка модели внедрения технологий Индустрии 4.0 в производственные процессы предприятий авиационной промышленности

Константин Александрович Иванов¹, Александр Олегович Гостилов²✉

^{1, 2} Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

¹ ivanovkostik13@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3123-0346>

² gostaleks@mail.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0003-4146-6934>

Аннотация

Цель. Разработать модель внедрения технологий Индустрии 4.0 в производственные процессы отечественных промышленных компаний в авиационной сфере.

Задачи. Раскрыть содержание понятия Индустрии 4.0; предложить индекс для оценки инновационности предприятий; представить эмпирическую базу исследования (кейсы компаний); предложить модель внедрения технологий Индустрии 4.0 в производственные процессы компаний; провести оценку выбранных компаний по разработанной модели.

Методология. В исследовании использованы методы глубинных интервью, анализа и синтеза полученных результатов. Результаты интервью проанализированы с использованием авторской модели внедрения технологий Индустрии 4.0. Теоретическую базу исследования составили работы зарубежных авторов в области теории и практики внедрения технологий Индустрии 4.0.

Результаты. Раскрыты понятие и смысл Индустрии 4.0, которая создает новую отрасль промышленности и может рассматриваться как новая индустриальная эра, основанная на применении передовых технологий в бизнесе. Авторами собраны эмпирические данные по четырем компаниям в области авиационного машиностроения (кейсы) и использованы для анализа вызовов внедрения технологий Индустрии 4.0, адаптации существующих производственных процессов в каждом кейсе. Предложена и описана новая модель внедрения технологий Индустрии 4.0 в производственные процессы отечественных компаний, учитывающая выявленные недостатки существовавших аналогичных моделей. Представлены результаты оценки исследованных компаний по разработанной модели на основании анализа кейсов. Выявлены основные направления внедрения Индустрии 4.0: бережливый менеджмент, концепция безбумажной фабрики и инфраструктура в цехе.

Выводы. Показано, что каждое из этих направлений можно рассматривать как основу для успешного внедрения инноваций. Главный вывод исследования состоит в том, что Индустрия 4.0 требует прежде всего изменения мышления менеджеров, и только затем — внедрения технологий.

Ключевые слова: цифровая экономика, авиационная промышленность, Индустрия 4.0, производственный процесс, бережливое производство, внедрение инноваций

Для цитирования: Иванов К. А., Гостилов А. О. Разработка модели внедрения технологий Индустрии 4.0 в производственные процессы предприятий авиационной промышленности // *Экономика и управление*. 2022. Т. 28. № 6. С. 584–594. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2022-6-584-594>

Developing a model for the introduction of Industry 4.0 technologies into the production processes of aviation industry enterprises

Konstantin A. Ivanov¹, Aleksandr O. Gostilovich²✉

^{1, 2} Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

¹ ivanovkostik13@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3123-0346>

² gostaleks@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-4146-6934>

Abstract

Aim. The presented study aims to develop a model for the introduction of Industry 4.0 technologies into the production processes of domestic industrial companies in the aviation sector.

Tasks. The authors reveal the content of the concept of Industry 4.0; propose an index for assessing the innovativeness of enterprises; present an empirical research base (company cases); propose a model for the introduction of Industry 4.0 technologies into the production processes of companies; assess the selected companies according to the developed model.

Methods. This study uses the methods of in-depth interviews, analysis and synthesis of the obtained results. The results of the interviews are analyzed using the authors' model for the introduction of Industry 4.0 technologies. The theoretical basis of the study includes papers by foreign authors on the theory and practice of the introduction of Industry 4.0 technologies.

Results. The concept and meaning of Industry 4.0, which creates a new industrial sector and can be considered as a new industrial era based on the use of advanced technologies in business, are revealed. The authors collect empirical data on four companies in the field of aviation engineering (cases) and use them to analyze the challenges of introducing Industry 4.0 technologies and adapting existing production processes in each case. A new model for the introduction of Industry 4.0 technologies into the production processes of domestic companies is proposed and described, making allowance for the identified shortcomings of similar existing models. The results of the assessment of the studied companies according to the developed model based on the analysis of cases are presented. The major directions for the implementation of Industry 4.0 are identified: lean management, the paperless factory concept, and workshop infrastructure.

Conclusions. It is shown that each of these directions can be viewed as a basis for the successful implementation of innovations. The main conclusion of the study is that Industry 4.0 requires managers to change the way they think before any technologies can be adopted.

Keywords: digital economy, aviation industry, Industry 4.0, production process, lean manufacturing, innovation

For citation: Ivanov K.A., Gostilovich A.O. Developing a model for the introduction of Industry 4.0 technologies into the production processes of aviation industry enterprises. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2022;28(6):584-594. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2022-6-584-594>

Введение

В настоящее время ситуация на рынке быстро изменяется под воздействием цифровизации, а также социальных, технологических, экономических и политических факторов. Чтобы угнаться за конкурентами, современные производственные предприятия вынуждены постоянно развиваться и совершенствоваться, используя инновационные технологии на своих производствах [1]. Вовлечение инновационных разработок в хозяйственный оборот способствует ускорению технологического развития промышленности, продвижению прогрессивной наукоемкой продукции и, как следствие,

обеспечивает эффективное стратегическое развитие предприятий [2].

Цифровые технологии открывают новые угрозы и возможности для развития бизнеса [3]. Лидеры большинства отраслей стремятся к созданию цифровых экосистем, активно используют возможности цифровых платформ и искусственного интеллекта [4]. Развитие авиационной отрасли России является одной из приоритетных стратегических задач, успешное решение которой усилит конкурентоспособность экономики страны в целом.

Применение цифровых технологий на авиационных промышленных предприятиях может стать одним из ключевых факторов

для завоевания лидерских позиций в мировом авиастроении. Отдельные технологии всё чаще используют в отечественной промышленности. Например, применение технологий дополненной реальности существенно облегчило задачи конструирования сложных систем и сократило количество ошибок, которые теперь можно обнаружить и исключить на стадии проектирования¹.

Однако по состоянию на 2022 г. в России очень мало предприятий в авиационной сфере используют все ключевые технологии Индустрии 4.0, такие как интернет вещей, облачные вычисления, большие данные, дополненная реальность, умная фабрика и др. Это связано со сложностями внедрения описанных технологий, большими затратами на переоборудование предприятий, сложностями в переобучении работников. В состав Национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» входит федеральный проект «Кадры для цифровой экономики», к основным задачам которого относится обеспечение доступности для населения обучения востребованным на рынке цифровым компетенциям².

Одним из возможных вариантов решения проблемы может стать разработка новой модели внедрения технологий Индустрии 4.0 в производственные процессы компаний, которая сможет упростить и стандартизировать шаги внедрения технологий на предприятия, с последующей оценкой ключевых показателей эффективности (*KPI*) компаний при помощи разработанной модели.

Понятие Индустрии 4.0

Индустрия 4.0 представляет собой развивающуюся структуру, в которой производство и логистические системы в форме физических киберсистем (*CPPS*) интенсивно используют глобально доступные информационно-коммуникационные сети для полностью автоматизированного обмена информацией, в которой согласованы друг с другом производство и бизнес-процессы [5].

¹ Индустриальный AR: как корпорации используют дополненную реальность // Rusbase. 2019. 28 октября. URL: <https://rb.ru/longread/industrial-AR/> (дата обращения: 07.05.2022).

² Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: утв. распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р. URL: <https://d-russia.ru/wp-content/uploads/2017/07/programma-tsifrov-econ.pdf> (дата обращения: 07.05.2022).

В настоящее время Индустрия 4.0 создает новую отрасль промышленности, которая будет зависеть от сбора данных и обмена ими на всей цепочке поставок [6] и представляет собой новый метод соединения цифрового и реального миров. Четыре основные движущие силы Индустрии 4.0: интернет вещей (IoT), промышленный интернет вещей (IIoT), облачные вычисления и интеллектуальное производство (умная фабрика); они помогают в преобразовании производственного процесса в оцифрованный и интеллектуальный [7].

Сущность Индустрии 4.0 заключается в преобразовании обычных машин в самообучающиеся машины для улучшения их общей производительности и управления техническим обслуживанием [8]. Индустрия 4.0 направлена на создание открытой интеллектуальной производственной платформы для информационных приложений в промышленных сетях [9]. Индустрия 4.0 может рассматриваться как новая индустриальная эпоха, основанная на применении передовых технологий в бизнесе. Она является следствием начавшейся в 2011 г. четвертой промышленной революции и перехода к новому технологическому укладу [5].

Эмпирическая база исследования: кейсы компаний

В целях проведения настоящего исследования собраны эмпирические данные о ряде компаний (кейсы), которые затем использованы для выявления основных направлений внедрения Индустрии 4.0 и адаптации существующих производственных процессов. Данные собирали с помощью глубинных интервью руководителей компаний и/или структурных подразделений, а также отдельных руководителей проектов.

Кейс 1 — компания АО «РПКБ» — производитель бортового радиоэлектронного оборудования для самолетов и вертолетов. Находится в подмосковном городе Раменское и выпускает небольшое количество разных моделей продукции, которые в результате кастомизации составляют огромное число вариаций. Производство представляет собой инновационный процесс, разделенный на три этапа по цехам. Среди них — механический, покрасочный, сборочный. Первые два цеха существенно автоматизированы с учетом сохранения здоровья и безопасности, а также с целью повышения качества

и оптимизации затрат. Благодаря высокой степени стандартизации, процессы в первых двух цехах легко автоматизировать. Процессы сборки сложно автоматизировать из-за высокой степени кастомизации, требующей ручного труда.

Производитель решил внедрять на своем производстве технологии Индустрии 4.0 с целью повышения качества, снижения рисков для здоровья и безопасности работников. Текущий уровень внедрения производителем технологий Индустрии 4.0 можно оценить как относительно высокий, несмотря на то, что производитель всё еще находится на средней стадии проекта внедрения технологий Индустрии 4.0. В настоящее время данная компания работает над внедрением новой системы управления производством (MES), чтобы использовать стандартизованную систему для всех производственных площадок.

Подобная система упростит подключение в сборочном цехе дополнительных устройств для сбора данных, мониторинга процесса и улучшений. Кроме того, новая система сократит объем документации в цехе, что соответствует усилиям компании по созданию безбумажной фабрики. Наиболее важными для внедрения технологий Индустрии 4.0 компания считает организационные вызовы. Необходимо убедиться в том, что сотрудники организации понимают значение и роль концепции Индустрии 4.0, принцип ее работы и ее пользу для повышения качества и экономии затрат.

Кейс 2 — российская компания АО «РПЗ» — производитель бортового электро- и радиооборудования, а также компонентов к нему. Компания решила внедрять технологии Индустрии 4.0, чтобы улучшить на своем производстве параметры «магического треугольника»: качество, затраты и время. Респонденты отмечают, что, по их мнению, Индустрия 4.0 направлена на повышение прозрачности для достижения высокого уровня цехового управления. Компания применяет и принципы бережливого менеджмента, считая их основой для внедрения Индустрии 4.0, и стремится стать безбумажной фабрикой, что рассматривается не как цель, а скорее, как средство достижения цели в области эффективности. Сегодня в компании существует более 30 проектов, связанных с цифровой трансформацией в рамках Индустрии 4.0. Однако в ходе внедрения технологий Ин-

дустрии 4.0 компания столкнулась с рядом неудач по причине неверной расстановки приоритетов.

Кейс 3 — российский завод по разработке и производству электронных компонентов АО «ИТТ», предлагающий широкий спектр продукции от простых компонентов до законченных системных решений. Компания решила внедрять на своем производстве технологии Индустрии 4.0 с целью повышения качества и снижения затрат. Кроме того, она стремится к повышению эффективности сбора данных о своих процессах и повышению прозрачности, как внутренней, так и внешней. Компания последовательно внедряет на производстве принципы бережливого менеджмента и следует принципам 5S, разработанным на базе японских принципов 5S. Кроме того, планирует отказаться от использования бумажных инструкций в производственном процессе и полностью перейти на электронный документооборот. Компания собирает также данные о производстве в целом и использует большие данные для улучшения собственных производственных процессов.

Кейс 4 — российский разработчик и производитель бортового электро- и радиооборудования для самолетов и вертолетов, пожелавший остаться анонимным. В ходе интервью выявлено, что компания только начала внедрение технологий Индустрии 4.0, но заинтересована в обсуждении этой темы. Интервью показало, что на производстве существует несколько машин с низким уровнем автоматизации. Однако эти машины оснащены датчиками, собирающими данные в режиме реального времени, и их можно анализировать в целях оптимизации производственных процессов. В настоящее время компания оценивает возможность внедрения технологий Индустрии 4.0 для повышения эффективности своего производства. Ее представители сообщили, что продукция этой компании производится в небольших объемах. Это было расценено в качестве главной причины отказа от внедрения технологий Индустрии 4.0 в большем масштабе.

Таким образом, на основании интервьюирования представителей четырех российских компаний в области авиационного машиностроения определены основные направления развития компаний, планирующих внедрять технологии Индустрии 4.0. Представители каждой из четырех компаний обращают внимание на роль технологий Индустрии 4.0 в снижении затрат, повы-

шении производительности и качества производимой продукции. Компании осознают необходимость в принятии концепции и сопряженных организационных вызовов.

Индекс инновационности предприятий

Для развития авиастроительных предприятий в условиях цифровой экономики [10] необходимо оценить их способность к осуществлению инновационной деятельности. Для этого предлагаем использовать индекс инновационности предприятий (I_{inn}) на основе четырехфакторной модели. Первый фактор — способность промышленного предприятия внедрять новые технологии, которые постоянно появляются в цифровой экономике, то есть инновационный потенциал предприятия. Вторым компонентом является степень автоматизации производства, третьим — степень цифровизации бизнес-процессов, четвертым — степень участия предприятия в информационном пространстве. Указанные факторы влияют на инновационность предприятия пропорционально весовым коэффициентам:

$$I_{inn} = w_1 C_t + w_2 C_a + w_3 C_d + w_4 C_{is},$$

где I_{inn} — индекс, характеризующий инновационность предприятия;

C_t — индекс, характеризующий способность промышленного предприятия внедрять новые технологии;

C_a — индекс, характеризующий степень автоматизации производства;

C_d — индекс, характеризующий степень цифровизации бизнес-процессов;

C_{is} — индекс, характеризующий степень участия предприятия в информационном пространстве;

w_1, w_2, w_3, w_4 — весовые коэффициенты.

Методология расчета индекса опирается на исследования Джона Герхарда Олссона и Сюй Юаньцзина (*John Gerhard Olsson, Xu Yuanjing*) [11]. Разработанный индекс I_{inn} характеризует инновационность предприятия и позволяет оценить его способность к осуществлению инновационной деятельности.

Разработка модели внедрения технологий Индустрии 4.0 в производственные процессы компаний и оценка компаний по модели

Опираясь на существующие исследования, можно заключить, что предложенные ранее

процессы внедрения инноваций подвергаются регулярной критике [12]. В предыдущих моделях не учтены центральные элементы, такие как измерение времени, технологический, организационный и средовой контексты, предложенные Торнацки и Флейшером [12]. В этой связи в качестве основы для создания новой модели внедрения технологий Индустрии 4.0 в производственные процессы компаний нами использованы процессы, предложенные Роджерсом [13], Торнацки и Флейшером [12], а также Хамидом, Конселлом и Свифтом [14].

Модель, представленная на рисунке 1, относится к внедрению технологических инноваций и не описывает общий цикл решения проблем. Она предполагает, что потребность в инновациях возникает в случае отсутствия возможности достичь поставленных целей или решить производственные задачи существующими методами.

Предлагаемая модель включает в себя пять шагов и подразделяется на три подпроцесса: подготовку, принятие решения и реализацию. Подготовка относится ко всем действиям, которые необходимо выполнить до принятия решения о внедрении. Процесс внедрения начинается с конкретной организационной проблемы. Деятельность по определению проблемы включает в себя осознание проблемы и ее определение. Как только проблема определена должным образом, можно начинать процесс отбора, подразумевающий выработку требований к потенциальному решению проблемы. Предполагается, что текущее решение не принесло эффекта, а значит, необходима инновация. Следующий подпроцесс — решение о внедрении — предполагает деятельность по принятию решения. В структуру данной деятельности входит приобретение необходимых ресурсов, анализ альтернатив на основе требований, оценка альтернатив. Как только решение принято, начинается последний подпроцесс — реализация.

Первое действие — внедрение — предполагает адаптацию инновации к организационным характеристикам и наоборот. Инновация постепенно внедряется в организацию. Происходит оценка постепенного внедрения в целях выявления возможностей для улучшений. После того, как инновация полностью внедрена, начинается рутинизация, предполагающая формирование еди-



Рис. 1. Модель внедрения технологических инноваций Индустрии 4.0
 Fig. 1. Model for the implementation of technological innovations of Industry 4.0

Источник: составлено авторами на основе материалов Торнацки и Флейшера [12].

ного понимания инновации в организации и обеспечение использования инновации в повседневной работе после завершения внедрения.

Для лучшего понимания модель упрощенно изображена в виде прямого процесса. Однако иногда в ней могут возникать петли обратных связей. Если инновация отклонена на этапе принятия решения, может возникнуть необходимость вернуться к этапу отбора и изменить требования. Еще один возврат к этапу отбора может потребоваться после деятельности по внедрению, если оценка покажет, что в действительности инновация не способна решить заявленную проблему. Последний возврат может потребоваться после этапа рутинизации, если окажется, что инновация не используется в повседневной работе. В этом случае может возникнуть необходимость в пересмотре требований для внедрения инновации, которая будет использоваться регулярно.

Модель также говорит о том, что первые четыре действия выполняются на уровне организации, а рутинизация осуществляется на операционном уровне. Это указывает на важную роль людей в успешном внедрении инноваций в организации.

Кроме того, данная модель учитывает концепцию *Technology — Organization —*

Environment (TOE) Торнацки и Флейшера [12], которая предполагает, что технологический, организационный и средовой контексты влияют на принятие решений о внедрении технологических инноваций. Поскольку три этих контекста влияют на все действия, данная концепция перенесена на процесс внедрения в целом.

Одна из главных проблем моделей, предложенных предыдущими исследователями, — отсутствие шкалы времени. Настоящая модель включает в себя стрелку, указывающую на то, что отдельные шаги предлагаемого процесса должны быть выполнены во времени, они представлены в хронологическом порядке слева направо.

На основании предложенной нами модели проанализированы кейсы четырех упомянутых выше компаний. В процессе анализа четыре кейса рассмотрены в качестве независимых исследований с целью объединения результатов. Задача — найти сходства и различия между четырьмя кейсами, которые описаны ранее, а затем проанализированы с помощью предложенной нами модели внедрения технологий Индустрии 4.0 в производственные процессы компаний. Уровни зрелости сравнивают с вызовами, названными соответствующей компанией в качестве наиболее значимых.

Сводная информация об уровне зрелости, процессе внедрения инноваций и вызовах

Table 1. Summary of the maturity level, innovation implementation process, and challenges

	Уровень зрелости	Внедрение Индустрии 4.0	Инновационность	Вызовы
Кейс 1	Уровень 2: используется малая часть из всех технологий Индустрии 4.0	Решение о внедрении: этап решения (организационный уровень)	Позднее большинство	<i>Технологический:</i> сложность, стандартизация, информационная безопасность. <i>Организационный:</i> навыки, поддержка руководства, затраты. <i>Средовой:</i> сетевые внешние факторы, конкурентное давление
Кейс 2	Уровень 4: используется часть технологий Индустрии 4.0	Процесс реализации: этап рутинизации (индивидуальный уровень)	Позднее большинство	<i>Технологический:</i> сложность, масштабируемость, стандартизация. <i>Организационный:</i> поддержка руководства, размер, навыки
Кейс 3	Уровень 3: используются некоторые из технологий Индустрии 4.0	Решение о внедрении: этап решения (организационный уровень)	Позднее большинство	<i>Технологический:</i> сложность, стандартизация, проблемы данных, масштабируемость. <i>Организационный:</i> затраты, навыки, поддержка руководства
Кейс 4	Уровень 1: не используются технологии Индустрии 4.0	Решение о внедрении: этап решения (организационный уровень)	Поздние последователи	<i>Технологический:</i> вызовы данных, стандартизация, совместимость. <i>Организационный:</i> поддержка руководства, затраты, навыки. <i>Средовой:</i> сетевые внешние факторы

Источник: составлено авторами.

В таблице 1 представлена сводная информация об уровне зрелости и инновационности компаний, о текущих этапах процесса внедрения инноваций и вызовах, с которыми в настоящее время сталкиваются соответствующие компании.

Как видно из таблицы 1, компания из кейса 1, будучи представителем позднего большинства, столкнулась с вызовами сложности, стандартизации, информационной безопасности, навыков, поддержки руководства, затрат, сетевых внешних факторов и конкурентного давления. Компания из кейса 2, как новатор, столкнулась с вызовами совместимости, масштабируемости, стандартизации, поддержки руководства, размера и навыков. Компания из кейса 3, как представитель позднего большинства, столкнулась с вызовами совместимости и стандартизации, данными, масштабируемости, затрат, навыков и поддержки руководства. Компания из кейса 4, как поздний последователь, столкнулась с проблемами данных, стандартизации, совместимости, поддержки руководства, затрат и навыков, а также сетевых внешних факторов.

Начиная анализ с технологических вызовов, можно утверждать, что проблема

данных выявлена в кейсах 3 и 4. Совместимость обнаружена в кейсах 2, 3 и 4, а сложность и информационная безопасность — в кейсе 1. Вызов, связанный с масштабируемостью, находит отражение в кейсах 2 и 3. Переходя к организационным вызовам, можно констатировать, что поддержка руководства и навыки выявлена во всех кейсах, в то время как затраты в качестве вызова — в кейсах 1, 3 и 4. Стандартизация в качестве вызова обнаружена в каждом из кейсов. Характеризуя средовые вызовы, можно отметить, что сетевые внешние факторы выявлены в кейсах 1 и 4; конкурентное давление — в кейсе 1. Технологические и организационные вызовы представлены во всех кейсах, в то время как средовые вызовы отсутствуют в кейсах 2 и 3.

Таким образом, как показано в таблице 2, все компании указали на вызовы стандартизации, поддержки руководства, навыков и затрат. Три из четырех компаний заявили о том, что для них критическими являются вызовы данных и вызовы совместимости, а две компании отметили сложность, информационную безопасность, масштабируемость и сетевые внешние фак-

Сводная информация вызовов, выявленных в ходе анализа кейсов

Table 2. Summary of challenges identified during case analysis

Вызовы для большинства компаний	Вызовы для многих компаний	Вызовы для нескольких компаний	Вызовы для немногих компаний
Технологический: стандартизация. Организационный: поддержка руководства, навыки, затраты	Технологический: вызовы данных, совместимость	Технологический: сложность, информационная безопасность, масштабируемость. Организационный: сетевые внешние факторы	Средовой: конкурентное давление

Источник: составлено авторами.

торы в качестве ключевых вызовов. Лишь одна из компаний назвала в качестве вызова конкурентное давление.

В целом вызовы внедрения Индустрии 4.0 для производственных процессов в авиационной сфере могут быть определены и ранжированы:

1. Для большинства компаний — вызовы, связанные с поддержкой руководства, навыками, затратами и стандартизацией.

2. Для многих компаний — вызовы, связанные с данными и совместимостью.

3. Для нескольких компаний — вызовы, связанные со сложностью, информационной безопасностью, масштабируемостью и сетевыми внешними факторами.

4. Для немногих компаний — вызовы, связанные с конкурентным давлением.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что все компании сталкиваются с технологическими и организационными вызовами. При этом компании с более высоким уровнем зрелости и более высокой стадией внедрения Индустрии 4.0 с меньшей вероятностью столкнутся со средовыми вызовами.

Результаты оценки компаний по разработанной модели

Анализ кейсов позволил выделить основные направления инноваций, которые отражают изменения существующих производственных процессов из-за внедрения технологий Индустрии 4.0.

Первое — это бережливый менеджмент. Все компании, применявшие принципы бережливого менеджмента в производственных процессах, оценены как зрелые в контексте освоения Индустрии 4.0. Второе — это концепция безбумажной фабрики, внедрение которой сопоставлено с проанализированным ранее уровнем зрелости

внедрения Индустрии 4.0 в соответствующих компаниях, а также с текущим этапом процесса внедрения в этих компаниях. Исследование показало положительную корреляцию безбумажных фабрик с высоким уровнем зрелости технологий Индустрии 4.0 и более высокой стадией процесса внедрения. Остается неясным, являются ли безбумажные фабрики предпосылкой для внедрения Индустрии 4.0 или следствием внедрения. Тем не менее очевиден тот факт, что для успешного внедрения Индустрии 4.0 необходимо адаптировать существующие производственные процессы к электронному документообороту.

Третье — инфраструктура в цехе, к которой относятся датчики, устройства, камеры, информационные панели и дисплеи, а также Wi-Fi. Все компании согласились с тем, что Индустрия 4.0 изменяет инфраструктуру в цехах. Однако компании по-разному понимают, что подразумевается под инфраструктурой, и, как следствие, имеют специфические особенности цифровой трансформации инфраструктуры. Очевидным становится, что большинство компаний включают в нее ИТ-инфраструктуру и устройства, а две компании — даже оптимизацию планировки цеха.

В целом вопрос адаптации существующих производственных процессов для подготовки к применению технологий Индустрии 4.0 широко обсуждался с респондентами. Стало очевидным, что, за исключением трех рассмотренных выше направлений, многие респонденты считают, что Индустрия 4.0 не требует фундаментальных изменений существующих производственных процессов.

Таким образом, Индустрия 4.0 требует прежде всего изменения мышления как от руководства, так и от линейных сотрудников. Изменение относится к оптимиза-

ции в рамках бережливого менеджмента, переходу к безбумажной фабрике, а также к изменению имеющейся инфраструктуры. При этом существующие производственные процессы, скорее всего, принципиально не изменятся, судя по эмпирическим данным, собранным в ходе данного исследования.

Заключение

В результате исследования авторами разработан индекс инновационности предприятий и предложена новая модель внедрения технологий Индустрии 4.0 в производственные процессы компаний. Данная модель использована для анализа зрелости отдельных отечественных предприятий авиационного машиностроения в контексте внедрения концепции Индустрии 4.0. Модель включает в себя ключевые технологии Индустрии 4.0, выбранные вследствие проведенного обзора литературы.

Разработанная модель использована в качестве основы для анализа зрелости компаний-участников с учетом эмпирических данных, собранных в ходе интервью. Модель внедрения технологических инноваций Индустрии 4.0. позволила преобразовать качественные данные, собранные во время интервью, в количественные данные о зрелости. Это дает возможность легко сравнивать уровни зрелости разных ком-

паний. Следовательно, можно считать, что модель зрелости обеспечивает исчерпывающий и прозрачный инструмент для оценки уровня зрелости внедрения Индустрии 4.0 в компаниях.

Выявлено три ключевых направления внедрения технологий Индустрии 4.0 в исследованных компаниях: бережливый менеджмент, концепция безбумажной фабрики и инфраструктура в цехе. Каждое из них можно рассматривать как основу успешного внедрения технологий Индустрии 4.0 для различных компаний. Главный вывод исследования сводится к тому, что концепция Индустрии 4.0 требует прежде всего изменения мышления сотрудников организации и только затем — технологических инноваций.

Во-первых, в дальнейшем в исследованиях целесообразно изучить последствия и вызовы Индустрии 4.0 для различных процессов SCOR-модели, таких как планирование, закупки, доставка, возвратная логистика и вспомогательные процессы. Во-вторых, целесообразно расширить выборку компаний для анализа, более подробного изучения карты процессов компаний и формирования более целостного представления о проблеме. В-третьих, интерес представляет изучение разных типов отраслей в различных географических регионах, что позволит обобщить результаты исследований.

Список источников

1. Гостилов А. О., Иванов К. А. Повышение конкурентоспособности промышленных предприятий и экономика совместного потребления // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2019. Т. 9. № 3. С. 236–243.
2. Аренков И. А., Салихова Я. Ю., Сайфутдинов А. А. Цифровая трансформация: направления исследований и цифровые риски // Креативная экономика. 2021. Т. 15. № 7. С. 2757–2776. DOI: 10.18334/ce.15.7.112414
3. Lipovenko M., Gostilovich A., Gostilovich S., Ivanov K., Ming L. Patterns and principles of the development of digital ecosystems // Nexa Revista Científica. 2022. Vol. 35. No. 1. P. 174–185. DOI: 10.5377/nexo.v35i01.13929
4. Алтухов А. В., Гостилов А. О., Иванов К. А. Инновационные бизнес-модели в авиационной промышленности // Экономика и управление. 2021. Т. 27. № 3. С. 190–200. DOI: 10.35854/1998-1627-2021-3-190-200
5. Шваб К. Четвертая промышленная революция / пер. с англ. М.: Эксмо, 2016. 208 с.
6. Barata J., Rupino Da Cunha P., Stal J. Mobile supply chain management in the Industry 4.0 era: An annotated bibliography and guide for future research // Journal of Enterprise Information Management. 2018. Vol. 31. No. 1. P. 173–192. DOI: 10.1108/JEIM-09-2016-0156
7. Erol S., Jäger A., Hold P., Ott K., Sihn W. Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production // Procedia CIRP. 2016. Vol. 54. P. 13–18. DOI: 10.1016/j.procir.2016.03.162

8. Lee J., Kao A., Yang S. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment // *Procedia CIRP*. 2014. Vol. 16. P. 3–8. DOI: 10.1016/j.procir.2014.02.001
9. Kamarul Bahrin M. A., Othman M. F., Azli N. H. N., Talib M. F. Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic // *Jurnal Teknologi*. 2016. Vol. 78. No. 6-13. P. 137–143. DOI: 10.11113/jt.v78.9285
10. Лapidус Л. В. Цифровая экономика: управление электронным бизнесом и электронной коммерцией. М.: ИНФРА-М, 2021. 381 с.
11. Olsson J. G., Yuanjing X. Industry 4.0 Adoption in the Manufacturing Process. Multiple case study of electronic manufacturers and machine manufacturers: Master Thesis. Kalmar, Växjö: Linnéuniversitetet, 2018. 132 p. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1213259/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 10.05.2022).
12. Tornatzky L., Fleischer M. The processes of technological innovation. Lexington, MA: Lexington Books, 1990. 298 p.
13. Rogers E. Diffusion of innovations. New York: Free Press, 2003. 551 p.
14. Hameed M.A., Counsell S., Swift S. A conceptual model for the process of IT innovation adoption in organizations // *Journal of Engineering and Technology Management*. 2012. Vol. 29. No. 3. P. 358–390. DOI: 10.1016/j.jengtecman.2012.03.007

References

1. Gostilovich A.O., Ivanov K.A. Improving the competitiveness of industrial enterprises and the sharing economy. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment = Proceedings of South-West State University. Series Economics. Sociology. Management*. 2019;9(3):236-243. (In Russ.).
2. Arenkov I.A., Salikhova Ya.Yu., Sayfutdinov A.A. Digital transformation: Research trends and digital risks. *Kreativnaya ekonomika = Journal of Creative Economy*. 2021;15(7):2757-2776. (In Russ.). DOI: 10.5377/nexo.v35i01.13929
3. Lipovenko M., Gostilovich A., Gostilovich S., Ivanov K., Ming L. Patterns and principles of the development of digital ecosystems. *Nexo Revista Científica*. 2022;35(1):174-185. DOI: 10.5377/nexo.v35i01.13929
4. Altoukhov A.V., Gostilovich A.O., Ivanov K.A. Innovative business models in the aviation industry. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2021;27(3):190-200. DOI: 10.35854/1998-1627-2021-3-190-200
5. Schwab K. The fourth industrial revolution. New York: Crown Business Publishing; 2016. 198 p. (Russ. ed.: Schwab K. Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya. Moscow: Eksmo; 2016. 208 p.).
6. Barata J., Rupino Da Cunha P., Stal J. Mobile supply chain management in the Industry 4.0 era: An annotated bibliography and guide for future research. *Journal of Enterprise Information Management*. 2018;31(1):173-192. DOI: 10.1108/JEIM-09-2016-0156
7. Erol S., Jäger A., Hold P., Ott K., Sihn W. Tangible Industry 4.0: A scenario-based approach to learning for the future of production. *Procedia CIRP*. 2016;54:13-18. DOI: 10.1016/j.procir.2016.03.162
8. Lee J., Kao H.-A., Yang S. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and Big Data environment. *Procedia CIRP*. 2014;16:3-8. DOI: 10.1016/j.procir.2014.02.001
9. Kamarul Bahrin M.A., Othman M.F., Nor Azli N.H., Talib M.F. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*. 2016;78(6-13). DOI: 10.11113/jt.v78.9285
10. Lapidus L.V. Digital economy: E-business and e-commerce management. Moscow: Infra-M; 2021. 381 p. (In Russ.).
11. Olsson J.G., Yuanjing X. Industry 4.0 adoption in the manufacturing process: Multiple case study of electronic manufacturers and machine manufacturers. Master thesis. Kalmar, Växjö: Linnéuniversitetet; 2018. 132 p. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1213259/FULLTEXT01.pdf> (accessed on 10.05.2022).
12. Tornatzky L., Fleischer M. The processes of technological innovation. Lexington, MA: Lexington Books; 1990. 298 p.
13. Rogers E. Diffusion of innovations. New York: The Free Press; 2003. 551 p.
14. Hameed M.A., Counsell S., Swift S. A conceptual model for the process of IT innovation adoption in organizations. *Journal of Engineering and Technology Management*. 2012;29(3):358-390. DOI: 10.1016/j.jengtecman.2012.03.007

Сведения об авторах**Константин Александрович Иванов**

аспирант кафедры экономики инноваций
экономического факультета

Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова

119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1,
стр. 46

Александр Олегович Гостилович

инженер лаборатории прикладного отраслевого
анализа экономического факультета

Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова

119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1,
стр. 46

Поступила в редакцию 19.05.2022
Прошла рецензирование 13.06.2022
Подписана в печать 14.07.2022

Information about Authors**Konstantin A. Ivanov**

postgraduate student of the Department
of Innovation Economics, Faculty of Economics
Lomonosov Moscow State University

1-46 Leninskie Gory, GSP-1, Moscow 119991,
Russia

Aleksandr O. Gostilovich

engineer of the Laboratory of Applied Industry
Analysis, Faculty of Economics

Lomonosov Moscow State University

1-46 Leninskie Gory, GSP-1, Moscow 119991,
Russia

Received 19.05.2022
Revised 13.06.2022
Accepted 14.07.2022

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие конфликта интересов,
связанных с публикацией данной статьи.
Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest related to the publication
of this article.