Концепции развития промышленных организаций в условиях цифровой экономики Индустрии 4.0

Хасанов А.Р., старший преподаватель Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия

Аннотация. Данная статья описывает концепции развития промышленных организаций в условиях цифровой экономики Индустрии 4.0. В качестве концепций выделяются наиболее распространенные модели цифровых промышленных предприятий, среди которых интеллектуальное производство, роботизированное производство и цифровая фабрика. В рамках описания концепций выделяют их основные характеристики, примеры внедрения и препятствия, мешающие их распространению. Также описываются основные технологии, используемые в рамках этих концепций, такие как, технологии промышленного интернета вещей (IIoT), радиочастотные RFID метки, облачные вычислительные технологии и технологии хранения данных, искусственный интеллект.

Ключевые слова: индустрия 4.0, цифровизация, промышленный Интернет вещей, интеллектуальное производство, роботизированное производство, цифровая фабрика.

Concepts of Development of Industrial organizations under the conditions of the digital economy of Industry 4.0

Khasanov A.R., senior lectuer, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Annotation. This article describes concepts of the development of industrial organizations in the digital economy of Industry 4.0. As concepts, the most common models of digital industrial enterprises are highlighted, among which there are smart

manufacturing, industrial robotics and digital factories. While describing concepts of the development of industrial organizations, were given their main characteristics and examples of implementation and factors preventing this. The main technologies used within these concepts, such as industrial Internet of things (IIoT) technologies, radio frequency RFID tags, cloud computing and cloud storage technologies, and artificial intelligence. also were described.

Keywords: industry 4.0, digitalization, industrial Internet of things, smart manufacturing, industrial robotics, digital fabric.

Введение

В сфере промышленности уже сейчас существуют направления, появление которых обусловлено результатами развития технологий Индустрии 4.0. В данной статье мы выделим несколько основных концепций развития промышленных предприятий, осветив при этом ключевые технологии, которые применяются для реализации этих концепций.

Для выделения моделей развития промышленных организаций применялся критерий актуальности. В статье описаны концепции, которые уже применены в крупных отраслевых и технологичных компаниях, а потому их действенность доказана на практике. Помимо этого, выбор описываемых моделей был обусловлен анализом литературы и основан на подходах других авторов к систематизации моделей развития промышленных предприятиях в условиях цифровизации экономики.

Модели и технологии промышленных организаций

В данной статье предпринимается попытка формализации имеющейся информации по тематике развития промышленных организаций в эпоху цифровизации и выделяются 3 модели развития промышленных организаций:

1. Интеллектуальное производство;
2. Роботизированное производство;
3. Цифровые фабрики.

Если говорить про конкретные технологии, то большое внимание данной статье уделяется следующим ключевым технологиям, формирующим основу моделей развития промышленных предприятий в условиях Индустрии 4.0:

- технологии промышленного интернета вещей (IIoT);
- интеллектуальная производственная система (IMS);
- радиочастотная автоматическая идентификация объектов (RFID метки);
- облачные вычислительные технологии и технологии хранения данных;
- искусственный интеллект;
- робототехника.

Интеллектуальное производство

Интеллектуальное производство (также известное как умное производство) представляет собой широкую концепцию производства с целью оптимизации производственных операций путем полного использования передовых информационных и производственных технологий. Оно рассматривается как новая модель производства, которая значительно улучшает разработку, производство и реализацию всего жизненного цикла типичного продукта. Весь жизненный цикл продукта может быть облегчен с использованием различных интеллектуальных датчиков, адаптивных моделей принятия решений, передовых материалов, интеллектуальных устройств и аналитики данных.[1]

Одной из форм реализации этой концепции является интеллектуальная производственная система (IMS), которая считается производственной системой следующего поколения, формируемой путем создания новых моделей, новых форм и новых методологий для превращения традиционной производственной системы в умную. В эпоху Индустрии 4.0 IMS использует так называемую сервисно-ориентированную архитектуру (SOA), чтобы предоставлять конечным

[1] Ли Б. и др. Применение искусственного интеллекта в интеллектуальном производстве: обзор // Границы информационных технологий и электронной техники. – 2017. – Т. 18. – №. 1. – С. 86-96.

пользователям совместные, настраиваемые, гибкие и реконфигурируемые сервисы с использованием возможностей Интернет сети.

Это позволяет создать высокоинтегрированную систему производства, где человек и машина как бы связываются друг с другом.[2] Такая высокая интеграция человеко-машинного сотрудничества направлена на создание экосистемы различных производственных элементов, задействованных в IMS и охватывающих организационные, управленческие и технические уровни.

Примером IMS является киберфизическая фабрика Festo Didactic, которая предлагает техническую подготовку и квалификацию крупным вендорам, университетам и школам в рамках стратегической инициативы платформы Industrie 4.0 правительства Германии.

Существенную роль для интеллектуальной производственной системы играет технология искусственного интеллекта, которая позволяет внедрять функции обучения и анализа непосредственно в используемое в производственном процессе оборудование. При использовании технологии ИИ человеческое участие в IMS может быть сведено к минимуму. Например, доставка материалов и производственных компонентов может быть организована автоматически, а более сложные производственные процессы и операции, где нельзя полностью отказаться от вмешательства человека, могут контролироваться в режиме реального времени.[3]

Производство путем полного использования передовых информационных и производственных технологий можно обеспечить иным образом – поддержкой промышленного Интернета вещей (IIoT).

Использование и эффективный обмен данными может быть обеспечен как раз за счет применения технологий IIoT, которые все чаще включаются в современные концепции производства в цифровой экономике и используют

[2] Фини А.Б., Фрешетт С.П., Сринивасан В. Портрет стандарта допусков ИСО СТЕП как инструмента интеллектуальных производственных систем // Дж. Компьют. Инф. Науч. Анг. – 2015. – Т. 15. – №. 2. – С. 21-22.
[3] Корен Ю., Ван В., Гу Х. Создание стоимости через проектирование масштабируемости реконфигурируемых производственных систем // Международный журнал исследований производства. – 2017. – Т. 55. – №. 5. – С. 1227-1242.

последние достижения, что в значительной степени влияет на производительность производственной системы.

Стоит отметить, что производство с поддержкой IIoT позволяет собирать данные в режиме реального времени и совместно использовать различные производственные ресурсы, такие как машины, рабочие, материалы и рабочие места.[4] Сбор и обмен данными в режиме реального времени основаны на ключевых технологиях, таких как радиочастотная идентификация (RFID) и стандарты беспроводной связи.

RFID-метки и считыватели размещаются на типичных производственных площадках, таких как цеха, сборочные линии и склады, где интеллектуальные объекты создаются путем оснащения производственных объектов RFID-устройствами. Это позволяет обнаруживать любые неисправности на этих площадках, оперативно исправлять их и по возможности возвращаться к производственному процессу (или даже не прерывать его) в режиме реального времени, тем самым существенно сокращая издержки.

Облачные технологии также относятся к передовой модели производства и включают сбор и хранение данных на удаленном сервере, а также облачные вычисления, производимые с использованием сторонних вычислительных мощностей. Использование облачных технологий может быть осуществлено на протяжении всего жизненного цикла продукта – разработка, моделирование, прототипирование, изготовление тестирование и даже техническое обслуживание.

Тем не менее, создание подобных облачных систем и сервисов является достаточно инвестиционно- и трудозатратным мероприятием, поскольку для совместного использования услуг необходимо создать виртуальную производственную среду или решение, для которого необходимы облачные методы развертывания, такие как общие, частные или гибридные облака, чтобы

[4] Би З., Да Сюй Л., Ван С. Интернет вещей для корпоративных систем современного производства // IEEE Труды по промышленной информатике. – 2014. – Т. 10. – №. 2. – С. 1537-1546.

конечные пользователи могли получить повсеместный и разно уровневый (при необходимости) доступ.

Различные производственные ресурсы, такие как машины и сборочные линии, также должны быть смоделированы, исходя из требований облачных сервисов, поскольку с них информация непосредственно и будет передаваться в облако.

Роботизированное производство

В энциклопедии «Британника» дано следующее определение понятия «робот» – это любая автоматическая машина, которая заменяет человеческие усилия, хотя она может не напоминать людей по внешнему виду или выполнять определенные действия так, как это делает человек. В этой же энциклопедии понятие «робототехника» определяется как инженерная дисциплина, занимающаяся проектированием, конструированием и эксплуатацией роботов.[5]

Международная федерация робототехники (International Federation of Robotics, IFR) и Международная организация по стандартизации (ISO) используют также понятие «промышленный робот» – автоматически управляемый, перепрограммируемый многоцелевой манипулятор, программируемый в трех или более осях.[6]

Таким образом, роботизированное производство – это производство, на котором используются управляемые и программируемые механизмы, способные оценивать условия и среду, в которой они функционируют, и адаптироваться под них, исходя из задач, которые они выполняют.

При этом данная способность роботов к реагированию на изменения внешней среды, как и производимые ими действия, могут иметь разную степень автономности. Роботы эволюционируют от запрограммированного автоматизма к полуавтономным и более автономным сложным системам. Полностью автономные системы могут действовать самостоятельно и принимать «решения»

---

[5] Моравец Н.П. Роботизированные технологии [Электронный ресурс] / Британская энциклопедия – Режим доступа. – URL: https://www.britannica.com/technology/robot-technology

[6] Промышленные роботы [Электронный ресурс] / IFR Международная федерация робототехники – Режим доступа. – URL: https://ifr.org/industrial-robotsм

без участия человека. Можно выделить следующие уровни роботизации оборудования промышленного производства:

- Полуавтономные устройства;
- Полностью автономные устройства;
- Искусственный интеллект.[7]

Роботизированное производство в последние годы активно развивается в двух направлениях: роботизированные системы, позволяющие специалистам на предприятии управлять производственным процессом удаленно, то есть в дистанционном режиме; механические манипуляторные системы, где рабочие, выполняющие простые механические движение (например, перемещение или замена объекта) заменяются роботами с аналогами человеческих рук.

Модернизация роботов в свою очередь происходит в направлениях повышения их автономности и достижения максимальной слаженности человеко-машинного взаимодействия. Этому способствуют новые открытия в смешных областях, таких как мехатроника, кибернетика, машинное зрение, искусственный интеллект и другие.

В новом отчетt World Robotics, подготовленном Международной федерации роботов (IFR) продемонстрировано в 2018 году рост ежегодного уровня продаж до 16,5 миллиардов долларов США, что является новым рекордом. В 2018 году по всему миру было отгружено 422 000 единиц промышленных роботов, что на 6 процентов больше, чем в предыдущем году. IFR прогнозирует, что поставки в 2019 году снизятся с рекордного уровня в 2018 году, но ожидают, что средний рост составит 12 процентов в год с 2020 по 2022 год. Данные представлены на рисунке 1.

[7] Эндрю К., Джулио Р., Саша В. В. Робототехника: прорывные технологии, инновации, интеллектуальная собственность // Форсайт. – 2016. – Т. 10. – №. 2. – С. 2-27.

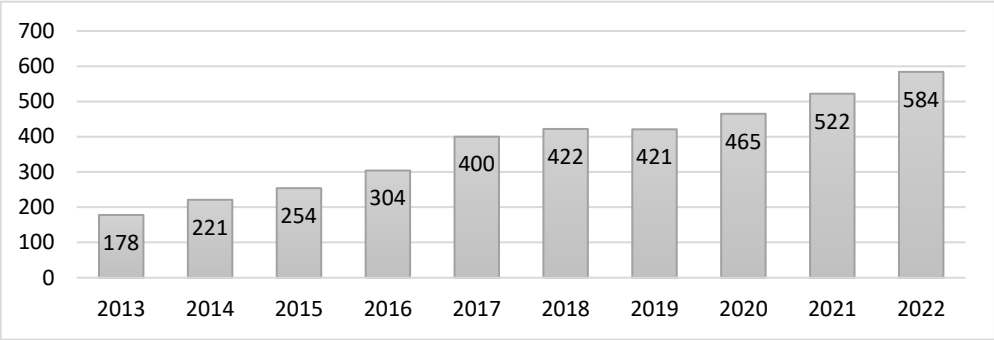

Рис. 1 – Количество установок промышленных роботов в период 2013-2018 гг. и прогнозное количество установок 2019-2022 гг., тыс. шт.[8]

Автомобильная промышленность остается крупнейшим в мире потребителем роботов с долей почти 30% от общего объема поставок (2018 г.). После очень прорывного 2017 года, в котором количество установок возросло на 21%, этот уровень был сохранен и немного увеличился на 2% в 2018 году.

В 2017 году прогнозировалось, что электротехническая и электронная промышленность заменит автомобильную отрасль как важнейшего потребителя промышленных роботов. Однако в 2018 году мировой спрос на электронные устройства и компоненты значительно снизился. Эта отрасль потребителей, вероятно, больше всего пострадала от торгового кризиса между США и Китаем, поскольку азиатские страны являются лидерами в производстве электронных продуктов и компонентов.

Говоря об эффектах роботизации промышленных предприятий, отметим, что использование роботизированных производств позволяет компаниям создавать конкурентное преимущество за счет минимизации операционных издержек, снижения затрат на логистику (например, если производственные мощности компании находились в другой стране), снижения брака и повышения скорости производства. В выделении подобных положительных эффектов сходятся многие исследователи, и подтверждают эксперты из отрасли.[9]

---

[8] Промышленные роботы: инвестиции в роботов достигают рекордных 16,5 миллиардов долларов США [Электронный ресурс] / Международная федерация робототехники IFR – Режим доступа. – URL: https://ifr.org/news/robot-investment-reaches-record-16.5-billion-usd

[9] Разрушающие стратегии, меняющие игру: роботизация и автоматизация [Электронный ресурс] / McKinsey – Режим доступа. – URL: https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/how-we-help-clients/robotics-и-автоматизация

Тем не менее, существует ряд сложностей, препятствующих стремительной и повсеместной роботизации промышленности. Как видно на рисунке 2, наиболее значимым фактором, мешающим роботизации производства, по мнению опрошенных респондентов стал фактор цены на промышленных роботов. Также значительными факторами являются отсутствие опыта компаний и специалистов в автоматизации, отсутствие единых платформ для программирования соответствующих процессов и отсутствие представителей, позволяющих напрямую общаться с производителями оригинальных деталей. Таким образом, в целом можно говорить о торможении процессов автоматизации и роботизации промышленных компаний за счет отсутствия единой инфраструктуры, связывающих производителей роботов, потребителей в лице промышленных компаний и дистрибьютеров.

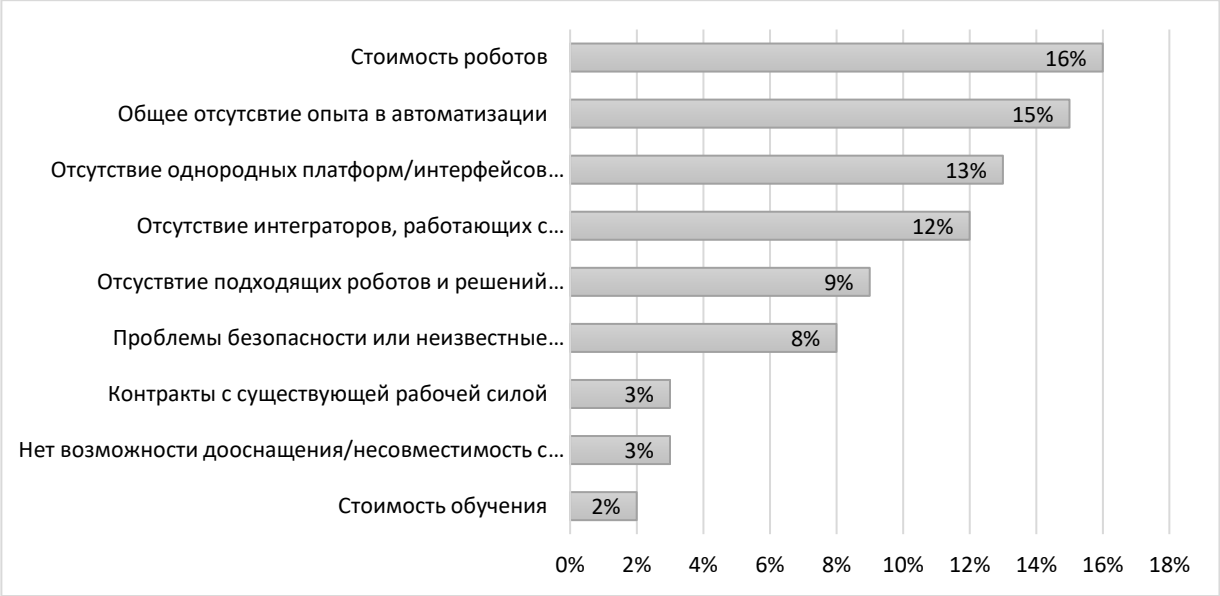

Рис. 2 – Факторы, препятствующие роботизации производства, %[10]

Цифровая фабрика

Цифровое производство – это система, использующая технологии аналитики данных, облачные технологии и Интернет вещей для объединения виртуального и реального миров и создания различных инструментов

[10] Больц Л., Мануэль Л. и др. Промышленная робототехника: анализ динамики будущего роста сектора [Электронный ресурс] / McKinsey – Режим доступа. – URL: https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics / наши-идеи / рост-динамика-в-промышленно-робототехника

совместной работы для одновременного создания определений продуктов и производственных процессов.[11]

Многие передовые производственные и технологичные компании, такие как Bosch, Philips, Siemens, Fujitsu, Airbus инвестировали в создание цифровых производств в 2011 году, и сейчас уже имеют значительные результата в виде снижения прямых и косвенных издержек, сокращения случаев брака и времени доставки готовой продукции, а также повышения общего уровня качества продукции.

Другие компании в последующие годы стали обращать все большее внимание на данную технологию. По итогам опросам компании PWC[12], в котором приняли участие 200 представителей высокотехнологичных компаний из различных отраслей, было установлено, что основным стимулом к созданию цифровых фабрик является общее повышение эффективности производства. Большое значение для компаний также имеют географическая близость к клиенту и возможность оперативной реакции на изменения объемов поставляемой продукции. Данные представлены на рисунке 3.

Рис. 3 – Стимулы создания цифровых фабрик

Стоит также отметить, что компании понимают необходимость значительных инвестиций для реализации модели цифровой фабрики на своем

[11] Абрелл Т. и др. Роль пользователей и клиентов в цифровых инновациях: взгляд фирм-производителей B2B // Информация и управление. – 2016. – Т. 53. – №. 3. – С. 324-335.
[12] Гейзбауэр Р. и др. Цифровые заводы 2020: формирование будущего производства // Отчет PWC. – 2017. – Т. 17.

производстве. Как видно на рисунке 4 больше всего инвестировать в создание цифровых фабрик планируют компании, производящие потребительские товары – 8% от выручки.

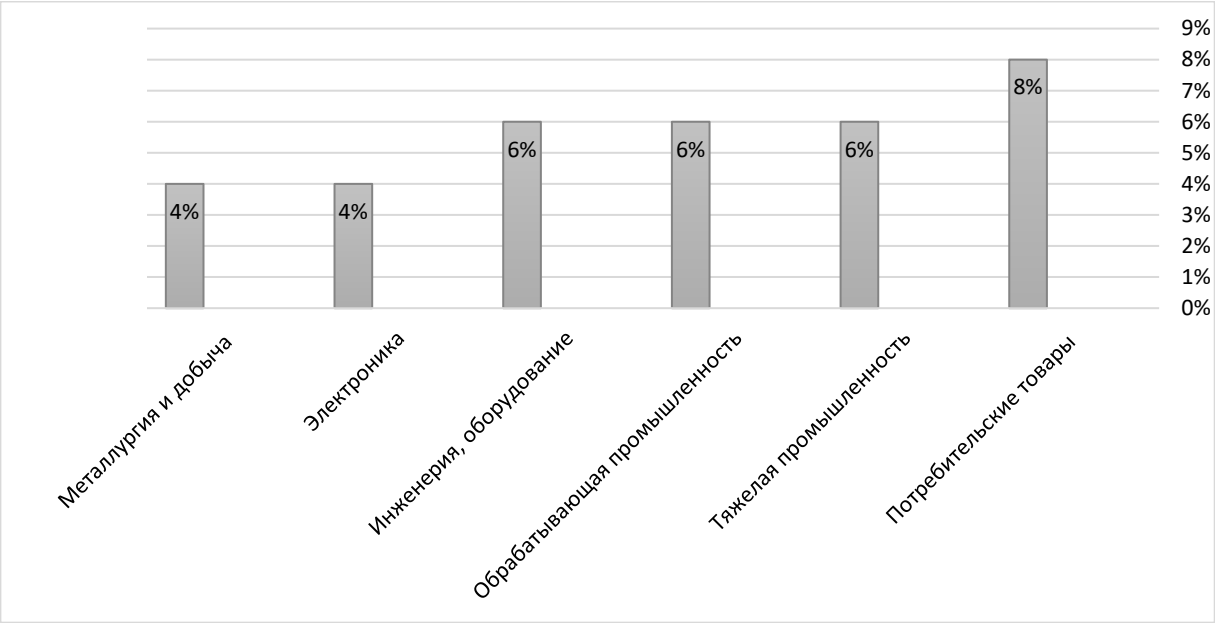

Рис. 4 – Доля выручки, которую компании планируют направить на реализацию концепции цифровой фабрики

При этом большинство опрошенных, как видно на рисунке 5 осознают, что начало окупаемости инвестиций, когда компания начнет получать первые результаты использования цифровых фабрик, состоится через 5 лет.

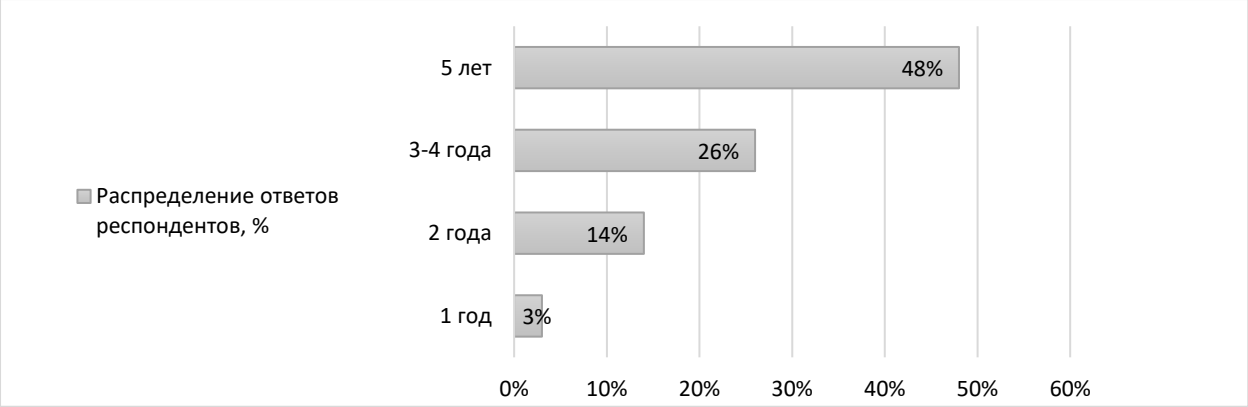

Рис. 5 – Период, в течение которого компании предполагают получить отдачу на инвестиции (ROI) в проекты создания цифровых фабрик

Если говорить об ожиданиях копаний, то многие из опрошенных представители заявили, что ждут роста выручки и повышения эффективности затрат, связанных с производством. При этом, как видно на рисунке 6 большинство компаний, реализующих проекты цифровых фабрик ожидают пророста выручки и эффективности на уровне 5-10%.

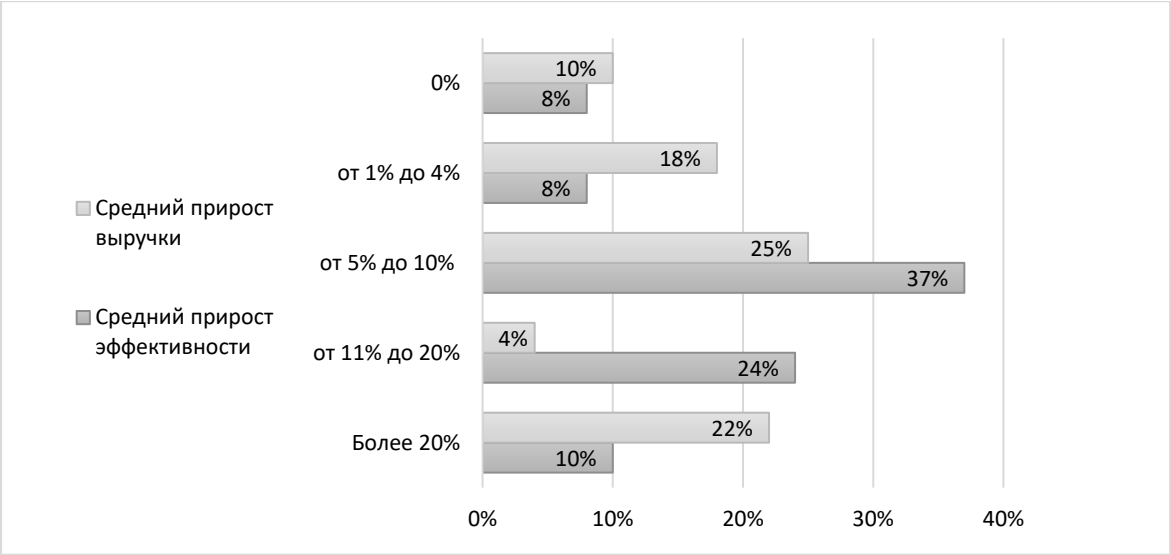

Рис. 6 – Период, в течение которого компании предполагают получить прирост выручки/прирост эффективности от реализации проектов цифровых фабрик

Таким образом, мы видим, что, как и в случае с интеллектуальном и роботизированным производством существует ряд факторов, препятствующих быстрому и повсеместному внедрению концепций цифровых фабрик.

В целом, говоря о всех описанных в данной статье концепциях развития промышленных организаций, следует отметить, что они являются действующими моделями, чья работоспособность доказана не только на теории, но и на практике. При этом важно понимать, что каждая модель использует свои ключевые технологии и зачастую внутренняя организация производственных предприятий и состояние их основных средств не позволяют в принципе внедрять подобные модели, не смотря на те положительные эффекты, которые они могут обеспечить даже в краткосрочной перспективе.

Заключение

В данной статье были выделены концепции модернизации промышленных предприятий, охватывающие сразу несколько технологий Индустрии 4.0 и позволяющие в случае их удачной интеграции добиться положительных эффектов. К таким концепциям относятся модели интеллектуального производства, роботизированного производства и цифровой фабрики. Важно отметить, что несмотря на то, что роботизированное производство и цифровая фабрика в какой-то мере тоже являются вариантом интеллектуального производства, эта концепция существует и сама по себе, поскольку в рамках нее

не обязательно наличие промышленных роботов или так называемых цифровых двойников.

Рассмотренные в статье концепции, являясь обособленными решениями по модернизации промышленных предприятий, в то же время могут быть применены совместно (полностью или частично). Для каждой модели при этом характерны как свои уникальные технологии, так и технологии, применимые сразу для нескольких моделей. Например, технология RFID меток является ключевой для создания интеллектуального производства, но также может использоваться и для создания цифровой фабрики и будет актуальна для роботизированного производства.

Стоит отметить, что для концепций интеллектуального и роботизированного производства и цифровых фабрик характерны те же препятствия по их внедрению, что и для отдельно взятых технологий. Из наиболее распространенных – высокие затраты на модернизацию и моральное устаревание имеющегося оборудования. Однако решение таких проблем очевидно и требует лишь времени на то, чтобы были созданы объединения производителей современных технологий автоматизации и роботизации и промышленных компаний для совместного создания универсальных системы и единых стандартов, которые будут приняты различными субъектами рынка.

В качестве направления дальнейшего исследования в данной области можно выделить изучение новых концепций развития промышленных компаний и дополнение уже существующей классификации более широким перечнем технологий, используемых в рамках каждой из моделей, а также оценкой их влияния на экономические и неэкономические показатели предприятий, внедряющих у себя эти модели.

Библиографический список

1. Ли Б. и др. Применение искусственного интеллекта в интеллектуальном производстве: обзор // Границы информационных технологий и электронной техники. – 2017. – Т. 18. – №. 1. – С. 86-96.

2. Фини А.Б., Фрешетт С.П., Сринивасан В. Портрет стандарта допусков ISO STEP как инструмента интеллектуальных производственных систем // Дж. Компьют. Инф. Науч. Анг. – 2015. – Т. 15. – №. 2. – С. 21-22.

3. Корен Ю., Ван В., Гу Х. Создание стоимости через проектирование масштабируемости реконфигурируемых производственных систем // Международный журнал исследований производства. – 2017. – Т. 55. – №. 5. – С. 1227-1242.

4. Би З., Да Сюй Л., Ван С. Интернет вещей для корпоративных систем современного производства // IEEE Труды по промышленной информатике. – 2014. – Т. 10. – №. 2. – С. 1537-1546.

5. Моравец Н.П. Роботизированные технологии [Электронный ресурс] / Британская энциклопедия – Режим доступа. – URL. – URL: https://www.britannica.com/technology/robot-technology

6. Промышленные роботы [Электронный ресурс] / IFR Международная федерация робототехники – Режим доступа. – URL: https://ifr.org/industrial-robotsм

7. Эндрю К., Джулио Р., Саша В. В. Робототехника: прорывные технологии, инновации, интеллектуальная собственность // Форсайт. – 2016. – Т. 10. – №. 2. – С. 2-27.

8. Промышленные роботы: инвестиции в роботов достигают рекордных 16,5 миллиардов долларов США [Электронный ресурс] / Международная федерация робототехники IFR – Режим доступа. – URL: https://ifr.org/news/robot-investment-reaches-record-16.5-billion-usd

9. Разрушающие стратегии, меняющие игру: роботизация и автоматизация [Электронный ресурс] / McKinsey – Режим доступа. – URL: https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/how-we-help-clients/robotics- и-автоматизация

10. Больц Л., Мануэль Л. и др. Промышленная робототехника: анализ динамики будущего роста сектора [Электронный ресурс] / McKinsey – Режим

доступа. – URL: https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics / наши-идеи / рост-динамика-в-промышленно-робототехника

11. Абрелл Т. и др. Роль пользователей и клиентов в цифровых инновациях: взгляд фирм-производителей B2B // Информация и управление. – 2016. – Т. 53. – №. 3. – С. 324-335.

12. Гейзбауэр Р. и др. Цифровые заводы 2020: формирование будущего производства // Отчет PWC. – 2017. – Т. 17.

References

1. Li B. et al. Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: a review // Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering. – 2017. – T. 18. – №. 1. – P. 86-96.

2. Feeney A.B., Frechette S.P., Srinivasan V. A portrait of an ISO STEP tolerancing standard as an enabler of smart manufacturing systems // Journal of Computing and Information Science in Engineering – 2015. – T. 15. – №. 2. – P. 21-22.

3. Koren Y., Wang W., Gu X. Value creation through design for scalability of reconfigurable manufacturing systems // International Journal of Production Research. – 2017. – T. 55. – №. 5. – P. 1227-1242.

4. Bi Z., Da Xu L., Wang C. Internet of things for enterprise systems of modern manufacturing // IEEE Transactions on industrial informatics. – 2014. – T. 10. – №. 2. – P. 1537-1546.

5. Moravec H.P. Robot TECHNOLOGY [Electronic resource] / Encyclopedia Britannica – /: https://www.britannica.com/technology/robot-technology

6. Industrial Robots [Electronic resource] / IFR International Federation of Robotics – Access mode. – URL: https://ifr.org/industrial-robots

7. Andrew K., Giulio R. и др. Robotics: breakthrough technologies, innovations, intellectual property // Foresight. – 2016. – T. 10. – No. 2. – P. 2-27.

8. Industrial Robots: Robot Investment Reaches Record 16.5 billion USD [Electronic resource] / IFR International Federation of Robotics – Access mode. – URL: https://ifr.org/news/robot-investment-reaches-record-16.5-billion-usd

9. Disrupt with game-changing strategies: Robotics & Automation [Electronic resource] / McKinsey – Access mode. – URL: https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/how-we-help-clients/robotics-and-automation

10. Bolz L., Manuel L.-D. P., Teulieres M., Tilley J., and Wägner S. Industrial robotics: Insights into the sector's future growth dynamics [Electronic resource] / McKinsey – Access mode. – URL: https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/growth-dynamics-in-industrial-robotics

11. Abrell T. et al. The role of users and customers in digital innovation: Insights from B2B manufacturing firms //Information & Management. – 2016. – T. 53. – №. 3. – P. 324-335.

12. Geissbauer R. et al. Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing // PWC Report. – 2017. – T. 17.