



И. В. ТАРАСОВ

Заместитель директора Центра отраслевых исследований и консалтинга ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации». Область научных интересов: операционная эффективность бизнеса, инновационное и стратегическое развитие компаний, построение бизнес-моделей.

E-mail:
Ivan.Tarasov@outlook.com

ТЕХНОЛОГИИ ИНДУСТРИИ 4.0: ВЛИЯНИЕ НА ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПАНИЙ¹

АННОТАЦИЯ

С одной стороны, идея четвертой технологической революции является концептуальной, поскольку формулирует понимание происходящих изменений, а с другой – институциональной, так как создает фундамент для ряда политических инициатив, вырабатываемых и поддерживаемых государством и бизнесом для развития программы исследований и разработок. Рассматриваются вопросы:

- Где заканчивается третья промышленная революция и начинается четвертая?
- Какие отличительные особенности и элементы характеризуют Индустрию 4.0?
- Какие изменения ожидают отрасли промышленности и предприятия?

К основным характеристикам промышленного производства относят:

- цифровизацию и вертикальную интеграцию по цепочке создания стоимости;
- цифровизацию и горизонтальную интеграцию нескольких цепочек создания стоимости;
- цифровизацию продуктов и услуг;
- цифровые бизнес-модели и доступ клиентов; развитую технологическую платформу.

Проведен анализ влияния технологий, характеризующих четвертую промышленную революцию, на повышение производительности промышленных компаний. Применение указанных технологий не только позволяет значительно сократить количество незапланированных остановок оборудования; время, затрачиваемое на реактивное устранение аварий, обеспечив при этом проактивное, профилактическое техническое обслуживание.

Кроме того, трансформация промышленного производства затрагивает бизнес-модели промышленных компаний. Проведенный анализ кейсов позволил выделить три новые модели организации заводов: «умные» автоматизированные заводы; заводы, ориентированные на клиента; мобильные заводы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИННОВАЦИИ, ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ, ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ, ИНДУСТРИЯ 4.0, «УМНАЯ» ФАБРИКА.

ВВЕДЕНИЕ

Концепцию четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0) впервые сформулировали как внедрение киберфизических систем в заводские процессы (Ганновер, 2011). Предполагается, что эти системы объединятся в одну сеть, будут связываться друг с другом в режиме реального времени, самонастраиваться и учиться новым моделям поведения. Такие сети смогут выстраивать производство с меньшим количеством ошибок, взаимодействовать с производимыми товарами и при необходимости адаптиро-

ваться под новые потребности потребителей [Трачук А. В., Линдер Н. В., 2017а]. Например, в процессе выпуска изделие само определит оборудование, способное произвести его. Предполагается, что все это будет происходить в полностью автономном режиме без участия человека. Немецкие промышленники сформулировали концепцию Индустрии 4.0 и представили ее правительству. Ее основу составили четыре принципа:

- функциональная совместимость человека и машины, которая предоставляет возможность контактировать напрямую через интернет;

- прозрачность информации и способность систем создавать виртуальную копию физического мира;
- техническая помощь машин человеку для объединения больших объемов данных и выполнения ряда небезопасных для человека задач;
- способность систем самостоятельно и автономно принимать решения [Iri 4.0, [s.a.]].

Термин формулирует понимание происходящих изменений, а значит, является концептуальным, создает фундамент для ряда политических инициатив, вырабатываемых и поддерживаемых государством и бизнесом для развития программы исследований и разработок, и потому оказывается институциональным [Policy department A, 2016].

Другим знаковым событием в истории концепции Индустрии 4.0 стал Всемирный экономический форум (Давос, 2016). Основатель и председатель форума Клаус Мартин Шваб назвал происходящие в экономике изменения четвертой промышленной революцией (Индустрией 4.0) и охарактеризовал ее место в экономической истории следующим образом: «Первая промышленная революция началась во второй половине XVIII века, когда появилась возможность при помощи воды и пара перейти от ручного труда к машинному. Вторая характеризовалась развитием массового конвейерного производства, связанного с освоением электричества. Мы живем в эпоху пока еще третьей

промышленной (или цифровой) революции, начавшейся во второй половине прошлого века с создания цифровых компьютеров и последующей эволюции информационных технологий. Сегодня она постепенно трансформируется в четвертую промышленную революцию, которая характеризуется слиянием технологий и размытием граней между физическими, цифровыми и биологическими мирами» [Schwab K., 2016].

С момента возникновения термина концепцией заинтересовались многие ученые, они углубились в изучение аспектов новой промышленности. Критики же указывают на то, что никакой революции в классическом понимании не происходит, что текущие изменения – это не более чем углубленная автоматизация, а сам термин является трендовым названием [Policy department A, 2016].

Для того чтобы применить данную концепцию к российским реалиям и сформулировать конкретные инициативы по развитию промышленности, необходимо ответить на следующие вопросы:

- Где заканчивается третья промышленная революция и начинается четвертая?
- Какие отличительные особенности и элементы характеризуют Индустрию 4.0?
- Каких изменений ожидают отрасли промышленности и предприятия?

Определения термина «Индустрия 4.0»

Определение	Источник
«Индустрия 4.0» предусматривает сквозную цифровизацию всех физических активов и их интеграцию в цифровую экосистему вместе с партнерами, участвующими в цепочке создания стоимости	[«Индустрия 4.0», 2016, с. 4–5]
Цифровизация отрасли промышленности посредством встраивания сенсоров в компоненты продукции и в производственное оборудование, использование киберфизических систем, анализа данных	[Industry 4.0: How to navigate, 2015, p. 10–14; Bauer H., Patel M., Veira J., 2016]
Трансформация производства, базирующаяся на передовых технологиях и предполагающая соединение в единую систему сенсоров, оборудования, изделий и ИТ-систем по цепочке создания стоимости как в рамках одного предприятия, так и за его пределами	[Gerbert P., Lorenz M., Rüßmann M. et al., 2015, p. 2–4]
Ключевыми постулатами Индустрии 4.0 являются интеграция физических элементов производства и ИТ-систем с целью развития и использования киберфизических систем для производства продукции	[Herter J., Ovtcharova J., 2016]
Взаимосвязь информационно-коммуникационных технологий и производственных систем	[Meissner H., Ilsena R., Auricha J. C., 2017]
Промышленная революция, базирующаяся на киберфизических производственных системах (CPPS), посредством которых происходит соединение физических и виртуальных миров	[Schlaepfer R. C., Koch M., Merkofer P., 2015, p. 3–9]
Интеграция всех подразделений, создающих стоимость, и остальных элементов предприятия посредством цифровизации. На заводе будущего информационно-коммуникационные технологии и автоматизированные производственные технологии полностью интегрированы. Все подсистемы, включая непромышленные внутри предприятия, а также внешние партнеры, поставщики, оригинальные производители оборудования (ОЕМ) и потребители связаны и консолидированы в единую систему	[The Factory, 2016]
Технологическая эволюция, предполагающая переход от встроенных систем к киберфизическим системам. Смещение парадигмы от централизованного производства к децентрализованному. Взаимодействие реального и виртуального миров. Соединение встроенных систем производства и «умных» производственных процессов	[Industrie 4.0, 2014, p. 8–10]
Новый уровень организации и контроля всей цепочки создания стоимости и жизненного цикла продукта, направленный на персонализацию и учет индивидуальных требований потребителей. Основой Индустрии 4.0 является доступ ко всей релевантной информации в режиме реального времени путем соединения всех элементов в цепочке создания стоимости	[Geissbauer R., Schrauf S., Koch V. et al., 2014]
Переход на полностью автоматизированное цифровое производство, управляемое интеллектуальными системами в режиме реального времени в постоянном взаимодействии с внешней средой, выходящее за границы одного предприятия, с перспективой объединения в глобальную промышленную сеть вещей и услуг	[Четвертая промышленная революция, 2017]

¹ Статья подготовлена на основе результатов исследования «Препятствия и драйверы структурных изменений в российской обрабатывающей промышленности», проведенного за счет средств бюджетного финансирования в рамках государственного задания Финансового университета, 2017 г.

КОНЦЕПЦИЯ ИНДУСТРИИ 4.0: ПОНЯТИЕ И ОСНОВНЫЕ АТРИБУТЫ

Чтобы дать ответ на вопрос, где заканчивается третья промышленная революция и начинается четвертая, необходимо четко обозначить границы «Индустрии 4.0». Концепция интенсивно развивалась на протяжении последних лет, сейчас есть возможность на основании ряда исследований изучить обязательные атрибуты и ключевые технологии «Индустрии 4.0». В таблице собраны определения.

От предыдущих революций Индустрию 4.0 отличают следующие обязательные признаки:

- **Цифровизация и вертикальная интеграция по цепочке создания стоимости.** «Индустрия 4.0» предусматривает цифровизацию и интеграцию процессов по вертикали в рамках всей организации, начиная от разработки продуктов и закупок и заканчивая производством, логистикой и сервисным обслуживанием. Все данные об операционных процессах, их эффективности, управлении качеством и операционном планировании доступны в режиме реального времени в едином информационном пространстве, оптимизированы под различные платформы [Bauer H., Patel M., Veira J., 2016; Трачук А. В., 2014].
- **Цифровизация и горизонтальная интеграция нескольких цепочек создания стоимости.** Горизонтальная интеграция выходит за пределы деятельности одного предприятия и охватывает поставщиков, потребителей и всех ключевых партнеров по цепочке создания стоимости. Используются инструменты интегрированного планирования, учитывающие входящие параметры от партнеров (смещения сроков поставок, изменения объемов производства и др.), что позволяет оперативно корректировать планы [Geissbauer R., Schrauf S., Koch V. et al., 2014; Трачук А. В., Линдер Н. В., 2016 а].
- **Цифровизация продуктов и услуг.** Цифровизация товаров предполагает дополнение имеющихся продуктов интеллектуальными датчиками или устройствами связи, совместимыми с инструментами анализа данных. Благодаря внедрению новых методов аналитики у компаний появляется возможность получать данные об использовании продуктов и дорабатывать эти продукты в соответствии с новыми требованиями конечных пользователей [Bauer H., Patel M., Veira J., 2016; Трачук А. В., Линдер Н. В., Убейко Н. В., 2017].
- **Цифровые бизнес-модели и доступ клиентов.** Ведущие отраслевые компании также расширяют спектр предоставляемых ими услуг, предлагая революционные цифровые решения, например комплексное персонализированное обслуживание на основе данных и интегрированные платформы [Geissbauer R., Schrauf S., Koch V. et al., 2014; Трачук А. В., Линдер Н. В., Антонов Д. А., 2014].
- **Новые цифровые бизнес-модели** зачастую направлены на получение дополнительной выручки от цифровых решений, оптимизацию взаимодействия с клиентом и улучшение доступа клиентов. Цифровые товары

и услуги часто предназначены для обслуживания клиентов путем предоставления им комплексных решений в обособленной цифровой экосистеме [«Индустрия 4.0», 2016].

- **Развитая технологическая платформа.** Предприятия используют высокотехнологичные машины и оборудование, информационно-коммуникационные решения и киберфизические системы, обеспечивающие цифровизацию и интеграцию. Без развитых технологий проблематично реализовать все предыдущие атрибуты с практической точки зрения [Geissbauer R., Schrauf S., Koch V. et al., 2014; Линдер Н. В., Арсенова Е. В., 2016; Трачук А. В., 2013].

КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технологии – основа «Индустрии 4.0», без них невозможно трансформация промышленного производства [Трачук А. В., Линдер Н. В., 2017б]. Часть ключевых технологий активно внедряется, часть пока проходит предварительные испытания в научно-исследовательских центрах, но их эффективность уже надежно доказана практикой применения.

Анализ больших данных. Цели применения: повышение качества продукции, энергосбережение и усовершенствование порядка обслуживания оборудования. Для эффективного применения важна интеграция данных из нескольких информационных систем, в том числе управления производством, учета ресурсов, управления отношениями с клиентами и др.

Автономные роботы. Современные роботы настраиваются и конструируются так, чтобы взаимодействовать между собой и с сотрудниками, самостоятельно обучаться и оптимизировать собственные операции. Например, компания Kuka создает автономных роботов, которые могут модифицировать и корректировать свои действия в зависимости от следующего продукта на линии. Сенсоры и панели контроля позволяют им взаимодействовать с человеком. Компания ABB запускает робота YuMi с двумя манипуляторами, предназначенного для сборки продукции (например, потребительской электроники). Манипуляторы и компьютерное зрение позволяют роботу безопасно взаимодействовать с человеком и распознавать детали.

Симуляция (моделирование). Виртуальное моделирование продуктов, материалов и процессов уже применяется на этапе инженерных разработок, в будущем его применение расширится для имитации полного цикла операционных и производственных процессов. Эти модели будут извлекать данные в режиме реального времени для создания виртуальной копии реального производства с участием машин, продуктов и сотрудников. Это позволит операторам тестировать и оптимизировать настройки оборудования для следующего продукта на линии при помощи виртуальной модели до внесения изменения непосредственно на физическом производстве. В качестве примера можно привести Tecnomatix от Siemens PLM Software – семейство программных продуктов, предназначенных для автоматизации решения задач в области подготовки и оптимизации производства от компании Siemens PLM Software. В семейство входят продукты для симуляции процессов в трехмерном пространстве, имитационного моделирования, программирования промышлен-

ленных роботов в режиме оффлайн, виртуальной пусконаладки линий и анализа собираемости с учетом размерных отклонений.

Интеграция ИТ-систем. Во многих компаниях, в том числе в России, информационные системы не интегрированы между собой либо интегрированы частично. Также крайне редко между собой интегрируются предприятия-производители, поставщики и клиенты. Индустрия 4.0 предполагает, что функциональные подразделения в рамках одной компании и целые компании образуют общее универсальное информационное пространство с целью автоматизировать сразу несколько цепочек создания ценности. Например, Dassault Systemes и Boost AeroSpace запустили единую платформу для взаимодействия участников европейской космической и оборонной индустрии. Платформа AirDesign является общим рабочим пространством для дизайнера и сотрудничества при создании летательных аппаратов. Платформа доступна в качестве услуги в частном «облачном» информационном пространстве. Платформа позволяет нескольким партнерам управлять производственными процессами и обмениваться данными.

Промышленный интернет вещей. В настоящее время только некоторое оборудование на производстве использует межмашинное подключение (M2M) и использует встроенные вычислительные мощности. Промышленный интернет вещей предполагает оснащение встроенными датчиками все большее количество производственных объектов и даже незавершенную продукцию. Это позволит передавать большие объемы данных как между машинами, так и централизованным системам контроля, осуществить децентрализацию систем аналитики и принятия решений, обеспечивая работу в режиме реального времени. Компания BoschRexroth оснастила оборудование для производства клапанов (и сами клапаны) специальными радиочастотными метками (Radio Frequency Identification, RFID), чтобы рабочее оборудование «понимало», какие шаги нужно выполнить и как адаптировать каждую отдельную операцию.

Кибербезопасность. В управлении и на производстве многие компании по-прежнему полагаются на ИТ-решения, которые являются закрытыми и не соединенными с внешним миром. При увеличении соединений и использовании стандартных протоколов соединений, которые предполагает Индустрия 4.0, становится очевидной потребность в защите ключевых производственных систем и линий от киберугроз. Поэтому безопасные подключения и надежные подходы к управлению доступом к системам являются неотъемлемым условием развития корпоративных информационных систем.

Облачные вычисления. Многие компании уже используют программное обеспечение и системы анализа на основе облачных платформ. Индустрия 4.0 предполагает увеличение потоков обмена данными, выходящих за пределы отдельно взятой компании. Растет и вычислительная мощность облачных платформ. В дальнейшем производственные системы мониторинга и контроля, возможно, перейдут на облачные платформы.

Аддитивное производство (3D-печать). Компании постепенно начинают применять инструменты аддитивного производства, например 3D-печать. Сейчас основная область

применения – это прототипирование и создание отдельных компонентов. В Индустрии 4.0 инструменты аддитивного производства могут применяться более широко, в том числе для производства небольших партий кастомизированной продукции.

Дополненная реальность. Системы дополненной реальности оптимизируют работу на складе и подбор комплектующих, направляют инструкции на мобильные устройства производственных рабочих во время ремонта оборудования путем направления. В рамках Индустрии 4.0 сфера их применения будет расширяться с целью упростить работу производственного персонала и обеспечить поддержку принятия решений.

Например, при помощи очков виртуальной реальности инструкции по ремонту (порядок замены отдельных деталей) будут проецироваться в режиме реального времени прямо на конкретное производственное оборудование. Сотрудник получит подсказку – порядок замены тех или иных деталей.

Компания Siemens разработала виртуальный тренировочный модуль для своего ПО Comos. При помощи 3D-модели и очков дополненной реальности модуль помогает персоналу справляться с экстренными ситуациями в режиме виртуальной симуляции. В этом виртуальном мире операторы учатся взаимодействовать с оборудованием при помощи цифровой презентации, изменять параметры оборудования и отображать операционные показатели и инструкции по ремонту.

Совокупность технологий, обеспечивающих взаимодействие между виртуальным и физическим миром, называется киберфизическими системами (рис. 1). Применительно к промышленности используется термин «киберфизические производственные системы» [TheFactory, 2016]. Компания IBM определяет киберфизические системы как системы, в которых вычислительные элементы взаимодействуют с датчиками, которые обеспечивают мониторинг киберфизических показателей, и с исполнительными элементами, которые вносят изменения в киберфизическую среду. Зачастую киберфизические системы ориентированы на то, чтобы каким-либо образом управлять окружающей средой. Киберфизические системы объединяют информацию от интеллектуальных датчиков, распределенных в физической

Рис. 1. Архитектура киберфизической системы



среде, для лучшего понимания среды и выполнения более точных действий. В физическом контексте исполнительные элементы на основе получаемых данных вносят изменения в среду обитания пользователей. В виртуальном контексте киберфизические системы применяются для сбора данных о виртуальных действиях пользователей, оборудования и машин [Дзанны А., 2015].

Современные технологии находятся в процессе непрерывного развития, и предприятия разных отраслей отдают приоритет развитию разных технологий, поэтому приведенный выше перечень не является исчерпывающим. В него также включают квантовые компьютеры, нанотехнологии, композитные материалы и др. Все они являются важными драйверами развития современной промышленности.

ТЕХНОЛОГИИ ИНДУСТРИИ 4.0 И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПАНИЙ

Внедрение любых средств автоматизации, в том числе технологий Индустрии 4.0, оправдано, если это даст экономический эффект по сравнению с принятыми формами производства и бизнес-процессов [Трачук А.В., Линдер Н.В., 2017в]. Практика ряда компаний показывает, что комплекс инструментов четвертой промышленной революции позволяет достигать экономически значимых результатов. Так, например, компания Nova Chemicals (Канада) приходилось ежегодно обрабатывать более 20 000 заказов на техническое обслуживание в каждом из 11 цехов по производству химикатов и пластмасс. Чтобы улучшить планирование обслуживания, компания внедрила передовые системы аналитики и облачных вычислений в сотрудничестве с SAP. Сегодня программное обеспечение SAP EAM (Enterprise Asset Management – решение для управления активами предприятия) формирует полноценную картину проведения технического обслуживания в NovaChemicals. Это облегчило

процессы планирования, выполнения работ и обеспечения материальными ресурсами. Все ключевые стейкхолдеры могут получить доступ к имеющейся в системе информации. Например, бизнес-пользователи могут получать ежедневный и еженедельный отчет о запланированных работах, приоритетах, требуемых ресурсах, возможных конфликтах в графиках работ по техническому обслуживанию и текущий прогресс в их выполнении. Результаты улучшенной координации и интеграции планирования технического обслуживания очень заметны:

- количество незапланированных отключений оборудования значительно сократилось;
- время, затрачиваемое на реактивную, аварийную работу, сократилось на 47%;
- время, затрачиваемое на проактивное, профилактическое обслуживание, увеличилось на 61%;
- соблюдение графика обслуживания, включая пилотные проекты, улучшилось на 22% в течение года.

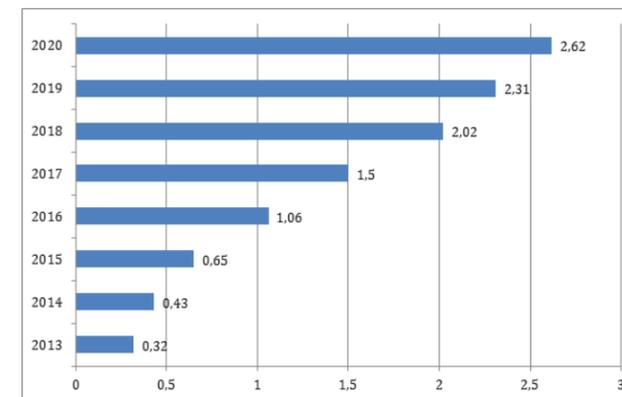
Концерн Siemens AG (Германия) разработал цифровую копию одного из своих заводов посредством сбора данных с датчиков на оборудовании. Эта инициатива позволила снизить время настройки оборудования в среднем на 80%.

Данные улучшения на производстве существенно влияют на финансовые результаты деятельности компаний. Основные эффекты, полученные по итогам трансформации ряда производств как в иностранных компаниях, так и в российских, приведены на рис. 2.

ТРЕНДЫ НА РЫНКАХ В РАМКАХ ИНДУСТРИИ 4.0

Рост инвестиций в новые технологии. Индустрия 4.0 предполагает значительный рост инвестиций в основные средства и нематериальные активы. Это можно увидеть, если выделить инвестиции в описанные технологии И4.0. На рис. 3 приведены совокупные инвестиции Германии

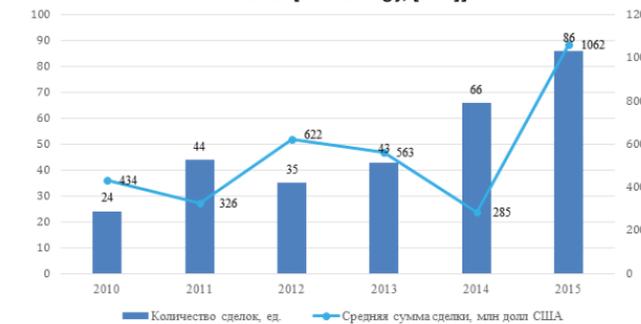
Рис. 3. Совокупные годовые инвестиции Германии в Индустрию 4.0, млрд евро



[HoffmannR., 2016], которая еще в 2011 году обозначила приоритетность технологического развития страны.

Рост количества слияний и поглощений и стратегических альянсов. Поскольку современные технологии развиваются феноменальными темпами, компании не успевают развивать все необходимые компетенции самостоятельно. В промышленном секторе можно отметить тренд на увеличение количества слияний и поглощений (рис. 4) [Technology, s.a.].

Рис. 4. Количество сделок на рынке слияний и поглощений в мире с участием промышленных высокотехнологичных компаний [Technology, s.a.]



РОСТ РЫНКА ПРОДАЖ РЕШЕНИЙ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ

Очевидным следствием является рост рынков и объемов продаж всех обеспечивающих технологий, что доказывает динамичное развитие Индустрии 4.0. На рис. 5 приведена динамика роста объемов рынка автоматизации [Global factory automation market, 2017]. Практически все сектора, создающие технологии Индустрии 4.0, продемонстрировали заметный рост. Частным примером является динамика продаж промышленных роботов [Worldwide sales, 2017] (рис. 6). Эти и другие тренды в значительной степени формируют будущее промышленности, их следует учитывать как государству, так и бизнесу. Кроме того, приведенные тенденции свидетельствуют о росте ряда рынков, что создает новые возможности для компаний, нацеленных на поиск своих ниш.

Рис. 5. Мировая динамика объема рынка промышленной автоматизации, млрд долл. [Global factory automation market, 2017]

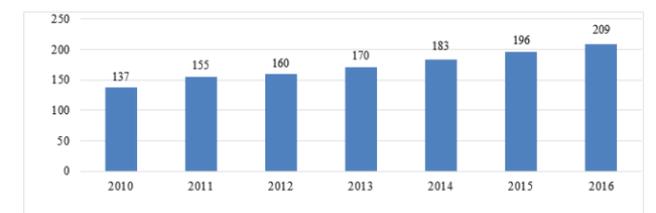
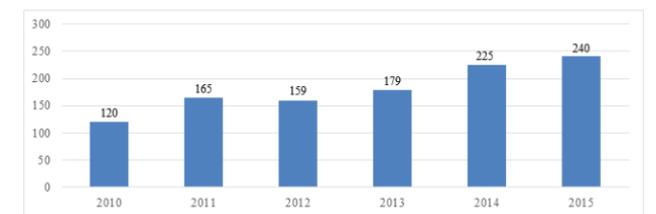


Рис. 6. Динамика продаж промышленных роботов по всему миру, тыс. ед. [Worldwide sales, 2017]



НОВЫЕ МОДЕЛИ ЗАВОДОВ

В долгосрочном периоде Индустрия 4.0 не только повлияет на существующие заводы, повысив их операционную эффективность за счет использования прорывных технологий, но и приведет к формированию следующего поколения организационно-технических моделей заводов.

На сегодняшний день формируются три основные модели в зависимости от подхода к удовлетворению спроса [Industry 4.0: Howtonavigate, 2015] (рис. 7).

Рис. 7. Три новые модели организации заводов



«Умные» автоматизированные заводы нацелены на массовое производство продукции с низкой себестоимостью.

Ключевые технологии: полный комплекс технологий Индустрии 4.0 применяется в масштабе всей производственной цепочки.

Кейс. Завод i3 (BMW, Лейпциг) демонстрирует высокую степень интеграции и цифровизации. Роботы используются на каждой стадии производства, в том числе в кузовном, покрасочном и сборочном цехах. Движение продукции по производственной цепочке отслеживается в режиме реального времени с помощью радиочастотных меток (RFID). Опера-

Рис. 2. Влияние технологий Индустрии 4.0 на финансовые показатели



торы завода используют мобильные устройства (планшеты), чтобы контролировать производственные системы и обрабатывать данные. Функция управления централизована в головном подразделении у сотрудников, принимающих управленческие решения, которые выступают своего рода «центральной нервной системой» завода.

Заводы, ориентированные на клиента, стремятся быстро реагировать на рыночные изменения и предполагают создание персонализированного предложения для клиента в значительных объемах по доступной цене.

Ключевые технологии:

- приложения-конструкторы, позволяющие клиентам самостоятельно проектировать товар под собственные нужды и, таким образом, выставлять требования для завода;
- системы прогнозирования колебаний спроса с максимальной точностью на основании больших данных;
- 3D-сканеры;
- приложения для трехмерного моделирования и проектирования;
- 3D-принтеры с высокой производительностью.

Кейс. В 2016 году производитель спортивной одежды, обуви и аксессуаров Under Armour (США) открыл экспериментальный завод Lighthouse, предприятие занимается дизайном и производством спортивной одежды. Используются технологии, нацеленные на обеспечение максимальной кастомизации:

- 3D-дизайн и сканирование тела для фиксации физических особенностей строения тела спортсменов для разработки максимально удобной одежды и обуви;
- 3D-печать и быстрое прототипирование для трансформации полученных трехмерных моделей в реальные образцы товаров, использование пятиосевых обрабатывающих станков;
- пилотные линии по производству одежды и обуви для апробации в условиях промышленного производства.

Мобильные заводы нацелены на нишевые и территориально удаленные рынки. У них относительно небольшие объемы производства, низкие капитальные затраты и высокая мобильность. Такие заводы производят ограниченный ассортимент продукции, но могут быть развернуты и выведены на производственную мощность в сжатые сроки.

Ключевые технологии:

- модульные производственные линии, которые могут быть быстро доставлены, собраны и подключены;
- быстро подключаемые и настраиваемые сборочные роботы;
- 3D-принтеры для производства отдельных деталей;
- гибкие логистические системы.

Кейс. KUBio – модульная фабрика для производства моноклональных антител (General Electric Healthcare). Предварительно подготовленные модули и технологическое оборудование транспортируются на выбранную площадку, где из модулей за 14–18 месяцев собирается завод. Таким образом, производители медикаментов могут быстро удовлетворить локальный спрос на определенные препараты. KUBio сокращает операционные издержки на развертывание завода и сроки вывода продукта на рынок, позволяя обогнать конкурентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены различные определения термина «Индустрия 4.0», который используется уже более 10 лет для обозначения современных инновационных подходов к организации производств. Несмотря на многообразие трактовок, термин является устоявшимся, поскольку по результатам анализа источников были выделены признаки Индустрии 4.0, с которыми согласно большинство экспертов.

Поскольку в основе современного производства лежат технологии, сформирован краткий перечень ключевых технологий, которые обеспечивают реализацию концепции «Индустрия 4.0» на практике, приведены направления их использования. Драйвером трансформации производств является желание повысить эффективность и результативность деятельности предприятия, что продемонстрировано при помощи взаимосвязи «применение технологии – эффект на производстве – влияние на финансовые результаты».

Разумеется, любая масштабная трансформация целых отраслей экономики оказывает значительное влияние на связанные рынки, что показывает краткий обзор динамики продаж промышленных роботов, решений по автоматизации, рост сделок на рынках слияний и поглощений, рост инвестиций.

Для дальнейшего научного исследования интересным направлением являются подходы к организации новых заводов. В статье рассмотрены три перспективные модели использования в конкретных компаниях. Тем не менее приведенная информация о заводах относится скорее к верхнему уровню, в первую очередь потому, что детальная информация о бизнес-процессах, эффектах, производственной статистике закрыта и по понятным причинам ведущие компании не распространяют ее. Итак, в дальнейшем было бы интересно провести углубленный анализ конкретных кейсов цифровой трансформации производств с последующим обобщением полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзанни А. (2015) Киберфизические системы и разумные города // IBM. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/ibm-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot/index.html>.
2. «Индустрия 4.0»: создание цифрового предприятия (2016) // PricewaterhouseCoopers. URL: https://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global_industry-2016_rus.pdf.
3. Линдер Н. В., Арсенова Е. В. (2016). Инструменты стимулирования инновационной активности холдингов в промышленности // Научные труды Вольного экономического общества России. Т. 198. С. 266–274.
4. Трачук А. В. (2014). Бизнес-модели для гиперсвязанного мира // Управленческие науки современной России. Т. 1, № 1. С. 20–26.
5. Трачук А. В. (2013). Формирование инновационной стратегии компании // Управленческие науки. № 3. С. 16–25.

6. Трачук А. В., Линдер Н. В. (2016) Адаптация российских фирм к изменениям внешней среды: роль инструментов электронного бизнеса // Управленческие науки. № 1. С. 61–73.
7. Трачук А. В., Линдер Н. В. (2017а) Инновации и производительность: эмпирическое исследование факторов, препятствующих росту методом продольного анализа // Управленческие науки. Т. 7, № 3. С. 43–58.
8. Трачук А. В., Линдер Н. В. (2017б) Распространение инструментов электронного бизнеса в России: результаты эмпирического исследования // Российский журнал менеджмента. Т. 15, № 1. С. 27–50.
9. Трачук А. В., Линдер Н. В. (2017в). Инновации и производительность российских промышленных компаний // Инновации. № 4 (222). С. 53–65.
10. Трачук А. В., Линдер Н. В., Антонов Д. А. (2014) Влияние информационно-коммуникационных технологий на бизнес-модели современных компаний // Эффективное Антикризисное Управление. № 5. С. 60–69.
11. Трачук А. В., Линдер Н. В., Убейко Н. В. (2017). Формирование динамических бизнес-моделей компаниями электронной коммерции // Управленец. № 4 (68). С. 61–74.
12. Четвертая промышленная революция – Популярно о главном технологическом тренде XXI века (2017) // Tadviser. URL: <http://tadviser.ru/a/371579>.
13. Bauer H., Patel M., Veira J. (2016) The Internet of Things: sizing up the opportunity. New York (NY): McKinsey & Company. URL: <http://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/the-internet-of-things-sizing-up-the-opportunity/>.
14. Geissbauer R., Schrauf S., Koch V. et al. (2014) Industry 4.0 – Opportunities and Challenges of the Industrial Internet assessment // PricewaterhouseCoopers. URL: <https://www.pwc.nl/en/assets/documents/pwc-industrie-4-0.pdf>.
15. Gerbert P., Lorenz M., Rüßmann M. et al. (2015) Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries // BCG. URL: https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_manufacturing_industries.aspx.
16. Global factory automation market (2017) // Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/728562/global-factory-automation-market-by-manufacturer/>
17. Herter J., Ovtcharova J. (2016). A Model based Visualization Framework for Cross Discipline Collaboration in Industry 4.0 Scenarios // Procedia CIRP. Vol. 57. P. 398–403.
18. Hoffmann R. (2016). Investment Opportunities in Industry 4.0 – Industrial Revolution «Made in Germany» // Ecovis. URL: <https://www.ecovis.com/focus-china/investment-opportunities-industry-4-0/>.
19. Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future (2014) // Germany Trade&Invest. URL: http://www.academia.edu/21125581/SMART_MANUFACTURING_FOR_THE_FUTURE_INDUSTRIE_4_0_Future_Markets.

20. Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector (2015) // McKinsey. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-four-point-o-how-to-navigate-the-digitization-of-the-manufacturing-sector>.
21. ipi 4.0 ([s.a.]) // Иннопром (2017). URL: <http://frprf.ru/ipi/>.
22. Meissner H., Ilsen R., Auricha J. C. (2017). Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0 // Procedia CIRP. Vol. 62. P. 165–169.
23. Policy department A: Economic and scientific policy. Industry 4.0 (2016) // European Parliament. URL: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU\(2016\)570007_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf).
24. Schlaepfer R. C., Koch M., Merkofer P. (2015) Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies // Deloitte. URL: <http://deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en/manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>.
25. Schwab K. (2016) The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond // World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>.
26. Technology ([s.a.]) // WilliamBlair. URL: <https://www.williamblair.com/Investment-Banking/Sector-Expertise/Technology.aspx>.
27. The Factory of the Future. Industry 4.0 – The challenges of tomorrow (2016) // KPMG. URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/es/pdf/2017/06/the-factory-of-the-future.pdf>.
28. Worldwide sales of industrial robots from 2004 to 2016 (in 1,000 units) // Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/264084/worldwide-sales-of-industrial-robots/>.