



**И. В. ТАРАСОВ**  
Менеджер проектов, лаборатория инноваций НЛМК-SAP, Группа компаний НЛМК. Область научных интересов: операционная эффективность бизнеса, инновационное и стратегическое развитие компаний, внедрение инноваций и новых технологий.

E-mail:  
Ivan.Tarasov@outlook.com



**Н. А. ПОПОВ**  
Специалист, Центр отраслевых исследований и консалтинга ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации». Область научных интересов: ИТ-технологии в операционной эффективности бизнеса, цифровизация производства, антикризисное и арбитражное управление

E-mail:  
Mr.Nikita.Popov97@gmail.com

# ИНДУСТРИЯ 4.0: ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАБРИК<sup>1</sup>

## АННОТАЦИЯ

Ключевым этапом перехода предприятия к Индустрии 4.0 является этап создания цифровых фабрик. В первой части статьи подробно рассматриваются составляющие элементы цифровых фабрик, ожидаемые эффекты от цифровизации производства и смежных функций, а также вопросы перехода от стратегических инициатив к операционному уровню – уровню бизнес-процессов, которые трансформируются под влиянием новых технологий. Во второй части статьи описывается методология исследования кейсов российских и зарубежных компаний, которые находятся в авангарде изменений. В третьей части приводятся кейсы производственных компаний, которые достигли существенных результатов в области цифровой трансформации, в частности Siemens, СИБУР и Новолипецкий металлургический комбинат.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ, ЦИФРОВОЙ ЗАВОД, ИНДУСТРИЯ 4.0, ОПЕРАЦИОННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ОПЕРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, ОПТИМИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.

## ВВЕДЕНИЕ

Новая технологическая революция не только повышает производительность и операционную эффективность существующих заводов, но и формирует новые организационно-технические модели заводов [Трачук А. В., Линдер Н. В., 2016а]. Популярность приобретает концепция цифровой фабрики – бизнес-процессы определенного типа и/или способ их комбинирования, с тем чтобы генерировать высокотехнологичные решения, благодаря которым можно спроектировать новые конкурентоспособные изделия нового поколения за короткие сроки.

Цель данной статьи – рассмотреть подход к трансформации производственной функции на операционном уровне, раскрыть концепцию цифрового завода на практике и на примере компаний ПАО «НЛМК», ПАО «СИБУР» и Siemens AG проанализировать реализованные трансформационные проекты на производстве.

В России цифровые фабрики появятся при реализации направления «ТехНет» Национальной технологической инициативы. Предполагается, что на таких предприятиях удастся производить продукцию дешевле и быстрее, чем на традиционных производствах. Реализация данной инициативы рассчитана на три этапа. Реализация первого этапа запланирована на 2017–2019 годы, финансирование составит 15,6 млрд руб.

Первые «фабрики будущего» в рамках направления «ТехНет» появятся в Центральном

научно-исследовательском автомобильном и автомоторном институте «НАМИ», в ООО «Ульяновский автомобильный завод», в машиностроительном холдинге «Волгабас». Предполагается создать цифровую фабрику и в судостроении, согласно договоренности в реализации проекта примет участие Объединенная судостроительная корпорация. Дорожная карта «ТехНет» рассчитана на период до 2035 года, и за это время планируется создать 40 фабрик будущего, 25 испытательных полигонов, 15 экспериментально-цифровых центров сертификации. На мировом рынке «фабрик будущего» Россия планирует занять 1,5% в сегменте инжиниринга и конструирования.

Ключевым элементом является концепция «цифровой фабрики» и трансформация моделей производственных заводов. Согласно «ТехНет», предлагается создать цифровые фабрики, «умные» фабрики и виртуальные фабрики. Цифровые фабрики реализуют все производственные процессы – от проектирования до виртуальных испытаний изделия – в цифровом формате. «Умные» фабрики – следующий, более сложный этап развития фабрик будущего, они практически не потребуют непосредственного вовлечения сотрудников в производственные процессы. Виртуальные фабрики могут быть расположены в любом месте и выстраиваться в производственные цепочки с помощью промышленного интернета вещей.

Описаны три возможные модели цифровых фабрик:

- *Автоматизированные заводы*, предназначенные для массового производства продукции с низкой себестоимостью. Производственные процессы полностью оцифрованы и автоматизированы, полный комплекс технологий Индустрии 4.0 внедрен в масштабе всей производственной цепочки.
- *Клиентоориентированные заводы* предназначены для массового производства доступной по цене продукции с быстрым реагированием на изменения предпочтений покупателей. Используются системы прогнозирования колебаний спроса с максимальной точностью на основании больших данных; приложения, посредством которых клиенты могут самостоятельно проектировать, каким их нуждам должен отвечать товар, и, таким образом, выставлять требования для завода; приложения для трехмерного моделирования и проектирования, 3D-сканеры и 3D-принтеры с высокой производительностью.
- *Мобильные заводы*, предназначенные для работы на территориально удаленных или нишевых рынках. Рассчитаны на небольшой объем производства, невысокие капитальные затраты и возможность быстрой релокации в зависимости от рыночных условий. Для этого заводам потребуются: модульные производственные линии и сборочные роботы, которых можно быстро доставить в новую локацию, собрать и подключить; 3D-принтеры для производства отдельных деталей; гибкие логистические системы [Industry 4.0, [s.a.]].

Цель данной статьи – попытка описания модели цифровой фабрики в разрезе конкретных технологий, областей их применения и потенциальных выгод. Цель актуальна в силу того, что пока в литературе не описаны стимулы и препятствия создания цифровых фабрик, как и ее модели, где можно было бы применить конкретные технологии Индустрии 4.0.

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ОПЕРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА

Традиционно операционная модель выстраивается из шести блоков. Уровень развития (зрелости) каждого блока можно оценить по соответствующим признакам [Operating model, [б.г.]; Our solutions, [s.a.]; Трансформация, [б.г.]]. Первый уровень означает, что блок операционной модели находится на начальном этапе развития, а пятый уровень говорит о высоком прогрессе. В табл. 1 приводится детализация блока «Процессы» и «Информационные технологии» (отмечены на рис. 1 серой зоной).

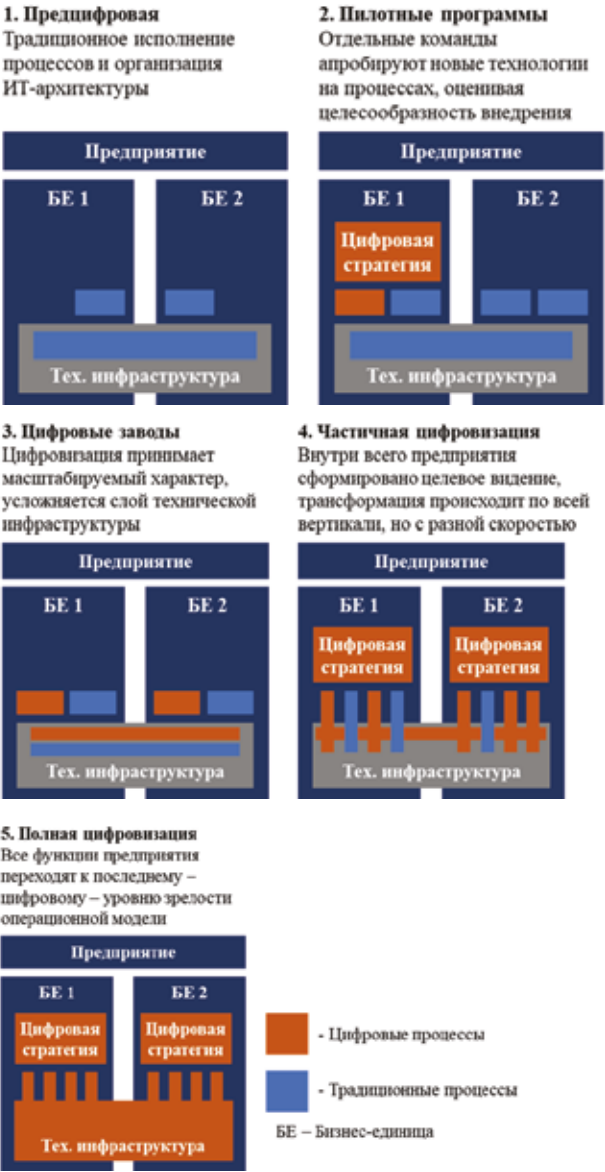
Проекты по созданию цифровых фабрик, главным образом, предполагают выстраивание новых производственных процессов при помощи современных технологий, поэтому в статье приоритетными являются измерения «процессы» и «информационные технологии».

В табл. 1 представлена детализация пяти уровней зрелости блоков операционной модели предприятия «Процессы» и «Информационные технологии». Также добавлен новый – цифровой – уровень зрелости, который дополняет модель и учитывает изменения, происходящие на современных пред-

Рис. 1. Операционная модель

Операционная модель	Уровень развития				
	Низкий	Высокий			
<b>Организационная структура</b> – система разделения полномочий, ответственности, уровней подчинения	1	2	3	4	5
<b>Персонал</b> – сотрудники, их уровень компетенций и навыков, должностные обязанности, фактор культуры	1	2	3	4	5
<b>КПЭ и отчетность</b> – система контроля деятельности при помощи показателей, аналитичность и детальность отчетной информации;	1	2	3	4	5
<b>Управление и контроль</b> – способ принятия решений и осуществления контрольных мероприятий	1	2	3	4	5
<b>Процессы</b> – подход к выстраиванию бизнес-процессов, в т.ч. описание, моделирование, стандартизация, оптимизация, исполнение	1	2	3	4	5
<b>Информационные технологии</b> – построение ИТ-архитектуры, интеграция систем, глубина автоматизации	1	2	3	4	5

Рис.2. Стадии цифровизации операционной модели



<sup>1</sup> Статья подготовлена на основе результатов исследования «Индустрия 4.0: исследование влияния развития передовых производственных технологий на производительность российских промышленных компаний», проведенного за счет средств бюджетного финансирования в рамках госзадания Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, 2018.



Таблица 1 Дополненные уровни зрелости измерений «Процессы» и «ИТ»	
Уровень зрелости	Характеристика
Блок «Процессы»	
1. Начальный	Процессы выполняются в хаотичном порядке, без выстроенной последовательности. Задачи успешно выполняются во многом благодаря энтузиазму персонала и компетентности отдельных сотрудников. Часто превышает бюджет, качество оставляет желать лучшего, результат не соответствует ожиданиям
2. Управляемый	Процессы планируются, отслеживаются и контролируются. Осуществляется управление требованиями, процессами, продуктами и услугами. Стандарты, описания процессов и процедур могут различаться от подразделения к подразделению, однако процессный подход к управлению реализуется в компании
3. Определенный	Построена единая инфраструктура стандартных процессов для всей организации. Используются процессы, которые определены, понятны и описаны с помощью инструментов и методов, формально закрепленных в документации. Процессы качественно предсказуемы, но отсутствует обязательная проверка соответствия процессов регламентам и целевым показателям
4. Количественно управляемый	Устанавливаются количественные критерии для управления процессами. Количественная информация накапливается и анализируется. Процессы контролируются статистическими и другими количественными методиками. Результаты измерений, которые выполнены для удовлетворения требований заказчика, конечных пользователей или организации, используются для принятия решений в будущем
5. Оптимизированный	Процессы совершенствуются как в целом, так и на уровне отдельного исполнителя. Основное внимание уделяется непрерывному улучшению эффективности бизнес-процессов за счет инновационных технологических усовершенствований. Критерием улучшения выступают количественные характеристики процесса
6. Цифровой	Процессы максимально автоматизированы, оптимизация в виртуальном пространстве (при помощи цифровых двойников). Рутинные, типовые, стандартные процессы выполняются в полностью автоматическом режиме с минимальным вовлечением человека, сотрудники заняты только нетиповыми, творческими процессами. Текущие процессы моделируются в виртуальном пространстве в режиме реального времени, будущие процессы имитируются, тестируются и оптимизируются до исполнения. Для оптимизации используются данные, собираемые с ИТ-систем, обеспечивающих процессы. Процессы гибко адаптируются под меняющиеся условия
Блок «Информационные технологии»	
1. «Зоопарк» систем	Множественные локальные системы, консолидация и интеграция вручную силами специалистов
2. Консолидированный	Единая система консолидации, множественные локальные системы, частичная интеграция
3. Полустандартизированный	Стандартные и нестандартные инструменты, хранилища данных
4. Стандартизированный	Стандартные инструменты/приложения, частично интегрированные
5. Внутренняя интеграция	Стандартные инструменты и приложения, полностью интегрированные
6. Полная интеграция, стандарты ИТ-архитектуры	Вертикальная и горизонтальная интеграция систем; ИТ-архитектуры компаний выстроены в соответствии с едиными ИТ-стандартами Индустрии 4.0 (например, RAMI 4.0)

приятнях. В частности, в блоке «Процессы» в качестве последнего уровня зрелости приводится оптимизированный уровень, что не позволяет отследить степень автоматизации рутинных процессов и степень трансформации производственных процессов за счет технологических решений. Блок «Информационные технологии» заканчивается на уровне зрелости, который предполагает интеграцию внутренних систем. С точки зрения Индустрии 4.0 важным условием является не только внутренняя вертикальная интеграция, но и горизонтальная интеграция нескольких цепочек создания стоимости, использование единых стандартов в ИТ-архитектуре.

Таким образом, выделение дополнительных уровней в рассмотренных измерениях операционной модели позволяет оценить прогресс предприятия на пути к цифровой трансформации, а также свидетельствует об эволюционном, а не революционном характере Индустрии 4.0. К аналогичному выводу пришли консультанты McKinsey&Company, которые сформировали дорожную карту, где предлагается пять шагов для перехода к цифровому уровню зрелости операционной модели [Khan N., Lunawat G., Rahul A., [s.a.]]. Визуально стадии можно представить по глубине реализации цифровой стратегии (рис. 2).

Далее будет рассмотрена концепция цифровой фабрики как промежуточной стадии цифровизации всего предприятия и главного этапа при трансформации операционной модели производственной функции.

## КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОЙ ФАБРИКИ

Цифровая фабрика трактуется как определенный тип системы бизнес-процессов и /или способ комбинирования бизнес-процессов, который имеет следующие характеристики:

- создание цифровых платформ, своеобразных экосистем передовых цифровых технологий: на основе предсказательной аналитики и больших данных подход позволяет объединить территориально распределенных участников процессов проектирования и производства, повысить уровень гибкости и кастомизации [Трачук А.В., Линдер Н.В., Антонов Д.А., 2014; Трачук А.В., 2013];
- разработка системы цифровых моделей новых проектируемых изделий и производственных процессов, с тем чтобы модели отличались высоким уровнем адекватности реальным объектам и реальным процессам (конвергенция материального и цифрового миров, порождающая синергетические эффекты) [Трачук А.В., 2014; Трачук А.В., Линдер Н.В., Убейко Н.В., 2017];
- цифровизация всего жизненного цикла изделий (от концепт-идеи, проектирования, производства, эксплуатации, сервисного обслуживания и до утилизации): чем своевременнее вносятся изменения, тем выше экономия на затратах на изделия, а потому

Рис.3. Стимулы создания цифровых фабрик (респонденты могли выбрать несколько вариантов) [DigitalFactories,2017]



приоритетными становятся процессы проектирования [Трачук А.В., Линдер Н.В., 2017б; Трачук А., Тарасов И., 2015].

На этапе формирования цифровых фабрик формируются новые ключевые компетенции:

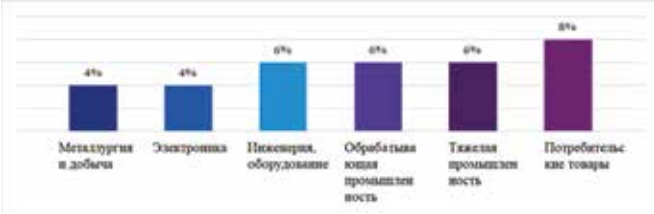
- быстрый отклик на рыночные изменения;
- использование системных подходов (системный инжиниринг), когда в каждый момент времени необходимо держать в поле зрения как систему в целом, так и все ее взаимодействующие компоненты;
- формирование многоуровневой матрицы целевых показателей и ограничений как основы нового проектирования, значительно снижающего риски, объемы натурных испытаний и объемы работ, связанных с доводкой изделий и продукции на основе испытаний;
- разработка и валидация математических моделей с высоким уровнем соответствия реальным объектам и реальным процессам;
- управление изменениями на протяжении всего жизненного цикла продукта;
- цифровая сертификация, основанная на тысячах виртуальных испытаний как отдельных компонентов, так и всей системы в целом.

Концепция цифровой фабрики очень быстро получила активное развитие и применение на практике [Тарасов, 2018; Трачук А.В., Линдер Н.В., 2017а; Трачук А.В., 2012]. Передовые производственные компании Bosch Rexroth, Philips, Nokia, Fujitsu, Siemens, ABB, Airbus инвестировали в проекты цифровых фабрик еще на самых ранних этапах, когда термин «Индустрия 4.0» впервые был предложен в 2011 году на Ганноверской конференции [Рагимова С., [б.г.]]. Сейчас эти компании уже могут однозначно говорить об успешности реализации данной концепции, получены значительные

Рис. 5. Период, в течение которого компании предполагают получить отдачу на инвестиции в проекты цифровой фабрики [DigitalFactories, 2017]



Рис. 4. Доля выручки, которую компании планируют направить на реализацию цифровой фабрики, % [DigitalFactories, 2017]



результаты: сокращение прямых и косвенных затрат, повышение качества продукта, сокращение выхода товара на рынок (time-to-market), снижение количества бракованной продукции, повышение прозрачности и др.

Компания PricewaterhouseCoopers опросила 200 представителей высокотехнологичных компаний из различных отраслей с целью выяснить основные стимулы инвестирования в цифровые фабрики (рис. 3) и сопоставить преимущества цифровой фабрики, расположенной в той же стране, где находилась компания, и создание заводов в зонах с дешевой рабочей силой (Китай, Корея и др.). Представители компаний, которые планируют реализацию концепции цифровой фабрики, хорошо понимают, что потребуются значительные капиталовложения (рис. 4), а результаты будут получены лишь в долгосрочном периоде (рис. 5).

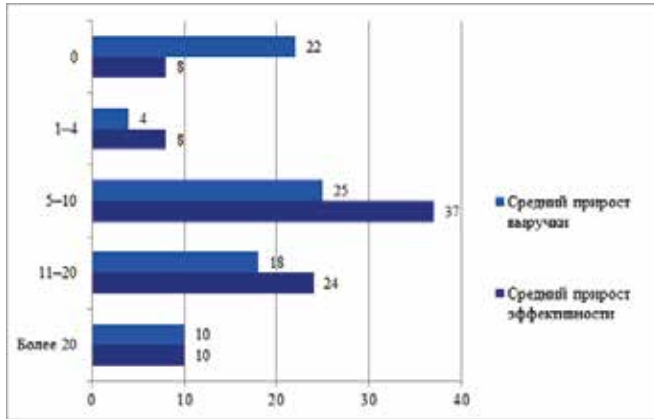
Через пять лет после начала реализации проекта компании ожидают получить существенные результаты: повышение эффективности затрат и рост выручки (рис. 6). Высокие финансовые и временные затраты на реализацию цифровой фабрики обусловлены необходимостью направить инвестиции в комплекс аппаратных и программных решений, обеспечивающий трансформацию производственных процессов.

## КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОЙ ФАБРИКИ В РАЗРЕЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ

**1. Фабрика.** Цифровой двойник помогает планировать, проектировать и строить производственные сооружения и инфраструктуру. Он может быть использован в процессах тестирования, имитации деятельности и ввода фабрики в эксплуатацию (рис. 7).

**2. Производственные активы.** Цифровая копия одного или нескольких единиц производственного оборудования

Рис. 6. Средний прирост эффективности и выручки [DigitalFactories, 2017]



для проектирования, виртуального запуска и контроля текущих операций используется для имитации производственных процессов оборудования с целью отладить его работу и оптимизировать для их отладки и оптимизации параметров, а также получения входных данных для предиктивной аналитики и дополненной реальности.

**3. Продукт.** Виртуальное представление продукта обеспечивает взаимосвязь между производственными операциями и управлением жизненным циклом продукта. Инструмент позволяет разрабатывать и тестировать виртуальную копию продукта, устранять дефекты и повышать качество, не затрачивая физических ресурсов на разработку и отработку брака.

**4. Подключенность** предполагает наличие слоя в IT-архитектуре фабрики, который за счет датчиков, интернета вещей и других инструментов интегрирует данные производственных объектов, в т.ч. ресурсов, транспортных средств, продуктов и др. Инструмент способствует развитию системы управления производством (Manufacturing Execution System, MES) и ее интеграции с системой управления ресурсами (Enterprise Resource Planning, ERP).

**5. Модульное производственное оборудование** является более эффективной альтернативой фиксированным конвейерным производственным линиям. Различные единицы оборудования могут быть соединены и разъединены в зависимости от производственной цепочки для решения текущей задачи или производства продукта. Производственные процессы становятся более гибкими, чем раньше.

**6. Гибкие способы производства.** Гибкость и адаптируемость производственных процессов обеспечиваются исходя из определенных задач. Например, промышленная 3D-печать позволяет быстро изготавливать широкую номенклатуру сложных деталей и комплектующих, не требует запуска масштабных процессов или дополнительного привлечения специализированных поставщиков. Технология особенно выгодна для штучного или мелкосерийного выпуска.

**7. Визуализация процессов для пользователей.** Если сотрудники используют в работе планшеты и технологии дополненной реальности, то можно существенно облегчить, например, сложные сборочные процессы или ремонтные работы. Планшеты или очки дополненной реальности в онлайн-режиме подсказывают сотрудникам, какое действие нужно выполнить следующим или какую деталь использовать.

**8. Интегрированное производственное планирование.** Предполагается интеграция производственных информационных систем класса MES с системами учета ресурсов класса ERP. Интеграция обеспечивает быструю передачу данных о потребленном сырье, потребностях в дополнительных комплектующих с уровня производства на уровень учета. Быстрое обновление ресурсных планов позволяет скорректировать интенсивность их потребления. В результате повышается эффективность процессов управления запасами и размещения заказов поставщикам.

**9. Автономная внутренняя логистика.** Транспортное и складское оборудование должно быть способно принимать и обрабатывать информацию о текущем статусе производственного процесса и активировать заданные алгоритмы, например поиск и транспортировку комплектующих со склада и передачу в производство либо приемку и перевозку готовой продукции. На практике активно применяются автоном-

ные транспортные роботы, роботы, способные вертикально и горизонтально перемещаться по стеллажным конструкциям, дроны для негабаритных грузов.

**10. Предиктивная аналитика.** В онлайн-режиме датчики и программное обеспечение собирают данные производственного оборудования, обрабатывают их на основании заложенных алгоритмов и формируют рекомендации/запросы на ремонт и техническое обслуживание до того, как произойдет поломка или авария, что существенно снижает риски остановок производства.

**11. Анализ больших данных.** На производстве нового типа используются многочисленные датчики и сенсоры, которые непрерывно собирают огромные массивы данных. Компании инвестируют значительные средства в анализ этих массивов при помощи методов статистики и машинного обучения, анализ больших данных способен обеспечить значительную оптимизацию [Гришина А., 2017].

**12. Умные системы оптимизации расхода ресурсов.** Системы способствуют оптимизации потребления электроэнергии, воды, сжатого воздуха на производстве. Решения могут быть как «коробочными», так и разработанными компанией самостоятельно на базе анализа больших данных.

**13. Передача параметров.** За счет выстраивания производственных процессов главным образом в виртуальном пространстве получаемые конфигурации являются тиражируемыми, их можно передавать на другие заводы в рамках одной компании в виде пакета параметров и настроек.

**14. Системы учета движения.** Перемещение сырья и готовой продукции в пространстве отслеживается как в рамках компании, так и за ее пределами. Работу данных систем также обеспечивают технологиями промышленного интернета вещей, в том числе датчики, радиочастотные мет-

Рис. 7. Концепция цифровой фабрики [Digital Factories, 2017]

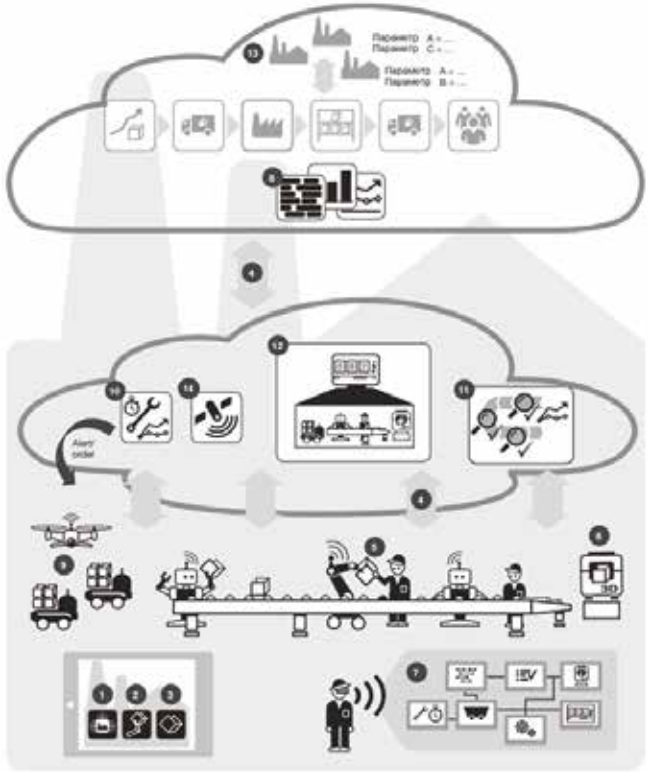


Таблица 2  
Совокупность источников первичной информации

Материалы (официальные информационные ресурсы компаний и открытые источники)	Анализируемые компании		
	ПАО «НЛМК»	ПАО «СИБУР»	Siemens AG
Годовые отчеты компаний 2015–2017	2 отчета	1 отчет	1 отчет
Интервью с представителями менеджмента компании в СМИ, публикации о компании	10 публикаций	11 публикаций	5 публикаций
Корпоративные издания	2 журнала	—	—
Документы (положения, регламенты, инструкции) компании	3 документа	3 документа	10 документов
Пресс-релизы, презентации результатов/технологий, события и новости	7 материалов	7 материалов	7 материалов
Материалы конференций и форумов	2 материала	4 материала	2 материала

ки и др. Передача этой информации в системы MES и ERP повышает эффективность интегрированного производственного планирования.

Концепция цифровой фабрики предполагает трансформацию системы производственных бизнес-процессов при помощи конкретных технологий [Трачук А.В., Линдер Н.В., 2016б]. Целевым состоянием является тотальная цифровизация всего жизненного цикла изделий и очень высокая степень автономности процессов. Многие предприятия как за рубежом, так и в России уже приступили к трансформации своих операционных моделей, сейчас они находятся на стадии создания цифровой фабрики.

## МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным методом проведения исследования является дистанционный анализ кейсов на основании открытых данных, публикуемых компаниями, которые включили цифровую трансформацию и Индустрию 4.0 в свои корпоративные стратегии, и метод экспертных оценок изучаемых экономических явлений. Мы поставили перед собой следующие задачи:

- В каких действиях на уровне производственной функции воплощается стратегия цифровизации и Индустрии 4.0?
- Как предприятия трансформируют процессы и информационные технологии операционных моделей при помощи современных решений?
- Как на практике реализуется концепция цифровой фабрики?

В качестве объектов исследования были выбраны ПАО «НЛМК», ПАО «СИБУР» и Siemens AG. Критериями отбора явились:

- принадлежность компаний к отраслям обрабатывающей промышленности, где характерна сложная технологическая цепочка;
- активная реализация цифровой трансформации, Индустрии 4.0, цифровых заводов и опыт успешного внедрения;
- пребывание на разных стадиях цифровизации операционной модели.

Информационную базу составили материалы из открытых источников (табл. 2).

Для системного изучения трансформации производственных процессов был сформирован набор верхнеуровневых производственных процессов. Инициативы по реали-

зации концепции цифровой фабрики рассматривались через призму производственных процессов (табл. 3). Последовательность изучения кейсов показана на рис. 8.

### ПАО «НЛМК»

Группа НЛМК – один из крупнейших производителей стали в России (23% производства стали) и один из наиболее эффективных в мире. Бизнес построен по вертикально-интегрированной модели. Производственные площадки компании расположены в России, Европе и США. Их совокупная мощность составляет около 17 млн тонн в год. Продукция используется в различных отраслях: от кораблестроения до офшорных ветровых установок. Высокий спрос на продукцию сопровождается соответствующим уровнем финансовых показателей: в 2017 году по сравнению с прошлым периодом EBITDA выросла на 37%, до 2,7 млрд долл., что сопровождается повышением рентабельности по EBITDA до 26% [Ключевые операционные... [б.г.]]. Это позволяет НЛМК входить в число одних из самых прибыльных производителей стали в мире.

Формировавшийся в 2017 году инвестиционный цикл в основном направлен на повышение эффективности бизнес-процессов, развитие сырьевой базы, укрепление позиций на стратегических рынках и повышение безопасности производства. Для достижения планируется использовать технологии Индустрии 4.0 во всех бизнес-процессах.

На этапе проектирования производства на путь цифровизации встал главный проектный институт «НЛМК-Инжиниринг». Изначально организация занималась исключительно объектами Группы, но со временем область проектной деятельности была расширена, и теперь это известная инжиниринговая компания с уникальными компетенциями и большим опытом проектирования промышленных объектов.

Для сохранения лидирующих позиций в отрасли нужно не просто развиваться и совершенствоваться, но и делать это быстрее остальных. Основным драйвером развития

Рис. 8. Последовательность работы с кейсом

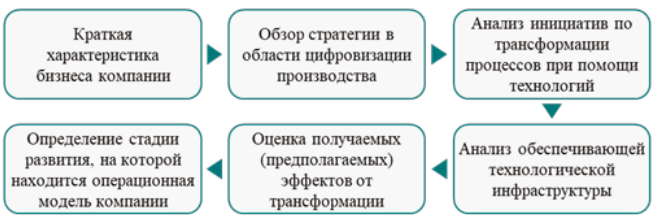




Таблица 3 Производственные процессы			
Процесс	Инициатива по трансформации		
	ПАО «НЛМК»	ПАО «СИБУР»	Siemens AG
Обслуживающие процессы			
Проектирование и прототипирование	✓	✗	✓
Производственное планирование	✓	✓	✓
Аналитика производства	✓	✓	✓
Логистика – входящая, внутренняя, исходящая, складская	✗	✓	✓
Технический контроль	✗	✗	✓
Охрана труда и промышленная безопасность	✓	✓	✗
Вспомогательные процессы			
Техническое обслуживание и ремонты		✓	✓
Управление инструментами и оборудованием	✗	✓	✓
Обеспечение всеми видами энергии (пар, тепло, воздух, электричество и др.)	✓	✗	✓
Основные технологические процессы			
Заготовка, обработка, сборка	✗	✓	✓

«НЛМК-Инжиниринг» является технология визуализации и создания проектной документации (Building Information Modeling, BIM) [Казанцев А., 2017]. С помощью BIM решается комплекс задач:

- создается трехмерная модель агрегата;
- цифровизация распространяется не только на инженерные расчеты, но и на все технические, стоимостные и эксплуатационные характеристики объекта;
- формируемая коммуникационная платформа позволяет эффективно взаимодействовать всем заинтересованным сторонам в течение жизненного цикла проекта.

Технология обладает множеством преимуществ. Отметим ключевые особенности по сравнению с традиционными чертежами.

Еще на этапе проектирования наглядность 3D-моделирования позволяет устранить все просчеты и ошибки, которые могли бы повлиять на ход выполнения работ. Это увеличивает точность планирования необходимых для строительства ресурсов.

С точки зрения взаимодействия стейкхолдеров принципиально меняется сам процесс проектирования. Моделирование объекта осуществляется с помощью набора 3D-элементов, имеющих в базе данных или предоставленных поставщиками. В процессе виртуального «строительства» одновременно работают все группы специалистов а не поэтапно, как это происходило раньше. За координацию работ и выявление коллизий на стадии проектирования отвечает BIM-координатор. Он проводит еженедельные собрания команды проекта, указывает на недостатки в модели. После этого главный инженер определяет конкретное направление, где специалисты должны исправить выявленный дефект путем внесения соответствующих изменений.

«НЛМК-Инжиниринг» имеет все необходимые ресурсы для интеграции используемых технологий в единую систему, что усиливает конкурентное преимущество компании. Совмещение всех информационных систем компании (системы управления ресурсами предприятия, SAP ERP, информационной системы управления проектами, системы управления

инженерными данными и системы проведения сметных расчетов) позволяет на основе информации об элементах, используемых в 3D-модели, автоматически определять объем необходимых материалов и трудозатрат. Такое объединение значительно упрощает процесс разработки сметы строительства и увеличивает точность расчета стоимости работ.

После успешного апробирования технологии BIM на проекте турбогенератора № 5 Группа НЛМК планирует к концу 2018 года использовать 3D-модели при выполнении 90% заказов [BIM-проектирование, [б.г.]]. Это будет сопровождаться доработкой программного обеспечения и дальнейшей интеграцией с электронным каталогом оборудования, который уже включает более 92 000 объектов. В рамках стратегии Индустрии 4.0 Группа НЛМК предполагается создание виртуальных двойников действующих производственных объектов – не только отдельных агрегатов, но и предприятий. Такая масштабная работа откроет огромные возможности для получения актуальной информации о состоянии каждого элемента оборудования, моделирования изменений и формирования базы данных для проведения проактивных ремонтов.

Цифровизация производства характеризуется главным образом формированием ИТ-фундамента для обеспечения возможности дальнейшей автоматизации. Для этого в 2017 году заключено соглашение с SAP, немецким производителем программного обеспечения для организаций. Комплексное сотрудничество включает создание лаборатории инноваций, которая представляет собой уникальный проект для обеих сторон. Деятельность выстраивается на фундаменте ИТ-платформы SAP S/4HANA [SAP S/4HANA, 2015]. SAP S/4HANA – новая версия системы управления ресурсами предприятия – ERP-системы, которая позволяет существенно ускорить бизнес-процессы и внедрять в промышленных масштабах технологии облачных решений, интернета вещей, машинного обучения и искусственного интеллекта [Группа НЛМК, 2018]. Неоспоримым преимуществом платформы является возможность разрабатывать собственные приложения и стремительно развиваться в Индустрии 4.0.

На сегодняшний день существует уже несколько реализованных проектов на базе SAP S/4HANA. Они охватывают разные стороны бизнеса, в том числе финансовую. С помощью машинного обучения удалось научить компьютерные модели сопоставлять счета-фактуры и банковские выписки. На основе исторических данных по платежам контрагентов удалось научить компьютер с вероятностью 80% прогнозировать следующие оплаты по счетам с горизонтом в 30 дней, что значительно облегчает планирование финансовых ресурсов и объем требуемых резервов. Специалисты активно занимаются роботизацией рутинных процессов.

Уникальной разработкой считается горно-геологическая информационная система, которая работает с 3D-моделью карьера, позволяя моделировать оптимальный план его разработки на 40 лет вперед. Технология позволяет добывать руду с минимальными издержками и максимальной эффективностью [Группа НЛМК представила, 2018].

Сегодня ИТ-платформа интегрирована более чем с 20 информационными и производственными системами Группы НЛМК, ею пользуются более 6,5 тысячи человек. Реализация не заняла много времени благодаря объединенным усилиям Группы НЛМК, команды SAP Digital Business Services, SAP Premium Engagement, глобальной поддержке и разработке SAP в рамках программы поддержки инновационных клиентов.

Огромное внимание компания уделяет техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) оборудования для повышения эффективности производства. Благодаря снижению потерь в результате проведения ремонта и преждевременной замены оборудования с нормальным остаточным ресурсом удается сэкономить значительные средства. Сегодня основная тенденция в этом направлении – переход от реактивного обслуживания к превентивному и проактивному, то есть принятие мер до того, как оборудование выйдет из строя. Такова ключевая характеристика новой стратегии управления ТОиР, внедряемой в Группе НЛМК [Засолоцкая Е., 2017]. При внедрении превентивной системы не обойтись без цифровых технологий.

С целью уменьшить долю реактивной составляющей реализуется стратегия проактивного обслуживания. В ее основе лежит внедрение инструментов надежности. Для их эффективного функционирования необходим сбор большого объема информации об оборудовании, в том числе в разрезе влияния качества и оперативности системы обслуживания на количество сбоев в работе оборудования; ремонт и замена части оборудования, имеющей критический уровень износа. С целью их выполнения в НЛМК был создан центр компетенций в области автоматике, который является одним из лучших в мире.

Перспективы дальнейшего развития проактивной системы Группа НЛМК видит во внедрении элементов прогнозной аналитики. Обслуживание проводится только при наличии изменений характеристик оборудования, которые выявляются на основе математических моделей и большого количества статистических данных. Переходу на этот этап может способствовать проект «Быстрое закрытие ремонтных работ собственным и привлеченным персоналом (Fastclose)». Суть проекта состоит в том, что каждые сутки учитываются все трудовые и материальные ресурсы, направленные на ремонт и обслуживание отдельно взятой машины. Базу данных обо-

рудования составили специалисты по надежности и планированию работ в SAP, которые также сформировали в SAP ERP соответствующий каталог. Он может быть использован для построения системы отслеживания изменений.

Уже реализован проект с целью научиться прогнозировать, когда выйдут из строя фурмы доменной печи «Россиянка». Изучение текущих практик, сбор массива исторических данных, полученных с помощью датчиков и лабораторных исследований, установление взаимосвязей между ними позволили определить предикторы – ключевые факторы для прогнозирования. На их основе с применением машинного обучения построили модель прогара фурм с использованием решений SAP Predictive Analytics и SAP Maintenance & Services. Горизонт прогнозирования – 20 дней, рекомендации позволяют производить замену фурм во время плановых ремонтов. Эффект оценивается в увеличении срока службы фурм на 20% с экономической оценкой – более 60 млн руб. [Искусственный интеллект, 2018].

В НЛМК отмечают, что проактивная система не может полностью заменить превентивные и реактивные методы. Их сбалансированное совмещение с технологиями автоматизации позволит разработать комплексный подход, который повысит надежность оборудования и одновременно уменьшит его стоимость.

Отдельное внимание Группа НЛМК уделяет соблюдению техники безопасности на рабочих местах. Еще в 2013 году поставлена задача разработать и внедрить современные превентивные меры по повышению безопасности труда: единую методику выявления потенциальных опасностей, системы оценки величины рисков и передовых практик управления ими. Для выполнения поставленной задачи используются как традиционные методы повышения промышленной безопасности, так и новые решения с применением технологий Индустрии 4.0. В 2014 и 2016 годах липецкая площадка компании признана самой безопасной в России.

Лаборатория инноваций НЛМК-SAP является одним из ключевых структурных подразделений в компании, деятельность которого посвящена реализации цифровых инициатив. Специалисты Группы НЛМК совместно с разработчиками и исследователями SAP, с другими партнерами создают новые разработки в сфере анализа процессов, пользовательского интерфейса, интернета вещей, машинного обучения, прогнозной аналитики и планирования производства.

Одной из наиболее значимых технологий является система 3D-позиционирования сотрудников (Real-time Locating System, RTLS), которую разработали лаборатория инноваций НЛМК-SAP и Национальный центр интернета вещей. Система базируется на облачной платформе SAP Cloud Platform, системе позиционирования RTLS-UWB, технологии 3D-визуализации и новой типовой беспроводной сети LoRaWan [НЛМК внедрил, [б.г.]]. Система реализована в масштабе агрегата непрерывного горячего оценивания № 1 на липецкой площадке. В режиме реального времени отображается и собирается информация о перемещениях сотрудников и изменении режимов работы агрегата. Для получения сведений о персонале в начале дня всем работникам выдаются датчики-метки, которые отслеживают их поведение в системе производственного пространства. Все сведения агрегируются и передаются на аналитическую

панель – дэшборды руководителям, что позволяет оперативно реагировать на вероятные инциденты и предупреждать сотрудников о возможных опасностях и внештатных ситуациях. Кроме того, накопленный объем информации позволяет анализировать действия персонала, в дальнейшем его можно успешно применять для принятия решений в сфере промышленной безопасности, управления персоналом и охраны здоровья.

Группа НЛМК отмечает перспективность и других технологий, которые меняют представление о безопасном производстве. Перед началом смены каждый работник опасного производства должен пройти медосмотр. Уже сейчас процедура частично осуществляется с помощью автоматизированных терминалов. Электронная система снимает все метрики, характеризующие состояние здоровья человека: реакция зрачков, тест на алкоголь, температура, пульс и кровяное давление. Нововведение разгружает медицинский персонал и уменьшает вероятность ошибок до минимума.

«Умная» каска помогает работнику самому адекватно оценивать степень своей усталости. Обруч с датчиками, закрепленный на голове, собирает данные о мозговой активности и по Bluetooth передает информацию на монитор компьютера или смартфон, она анализируется с помощью специального программного обеспечения и отображается в реальном времени. Если уставший работник игнорирует предупреждение программы, супервайзер получает сигнал о нарушении и принимает решение о возможности продолжения рабочей смены.

Технология виртуальной реальности, получившая широкое распространение в сфере развлечений и компьютерных игр, применяется и для обеспечения безопасности производства. Примеры поведения, опасного для жизни и здоровья, снятые на камеру с обзором 360°, демонстрируются с помощью очков виртуальной реальности. Сотрудник «оказывается» в положении, когда ему грозит риск, после чего отвечает на тестовые вопросы и ищет правильный выход из предлагаемой ситуации.

На предприятии широко используется анализ большого количества данных, ему предстоит обеспечить существенный потенциал роста эффективности бизнеса. Чтобы иметь возможность обрабатывать объем неструктурированной информации, исчисляемой петабайтами, необходим инструментарий BigData, который стал ключевой основой для новой волны инноваций и роста производительности [Журнал, [б.г.]].

В металлургии характеристики продукта и процесса производства определяются большим количеством параметров. Они составляют объем информации, который может быть проанализирован и направлен на оптимизацию производственных процессов.

Департамент анализа данных НЛМК занимается внедрением математических методов анализа данных и математического моделирования. С использованием технологий больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта не только разработаны пилотные проекты, но и внедрен ряд инициатив на производстве. Часть из них нацелена на экономию дорогостоящих ферросплавов, поиск причин нескольких видов дефектов продукции и оптимизацию работы ТЭЦ. Всего для реализации было отобрано

десять из пятидесяти выявленных инициатив, ожидаемый экономический эффект должен составить около 3 млрд руб.

Однако реализация инициатив, связанных с BigData, требует ИТ-инфраструктуры. Она служит для сбора, анализа и хранения данных компании. Реализацию проекта по созданию аппаратного комплекса НЛМК доверил компании «Техносерв». В июне 2018 года подрядчик завершил все работы – от поставки до пуска и наладки серверного оборудования Hewlett-Packard Enterprise и средств сети передачи данных Cisco Systems [НЛМК построил, 2018]. Комплекс разместился в Липецке, где находится основной центр обработки данных НЛМК.

По мнению компании IDC, к 2020 году объем информации о клиентах, поставщиках и производственных операциях, которой располагает компания, увеличится в два раза. Для принятия решений будут пригодны 60% объема данных, однако пока данный показатель недостижим из-за ряда ограничений, в том числе и для НЛМК.

Во-первых, до назначения не были предусмотрены функции, чтобы решать бизнес-задачи с помощью анализа данных. Отдельные подразделения проводили эксперименты и пилотные проекты с целью определить потенциал использования анализа данных и моделирования. Конкретные результаты получены не были, но в компании поняли, что с помощью цифровых технологий возможно значительно повысить операционную эффективность. Поэтому сейчас стоит задача организовать системную работу по внедрению искусственного интеллекта, машинного обучения и инструментария BigData.

Во-вторых, не по всем переделам может быть получена полная информация. С одной стороны, связано это как с физико-химическими условиями производства, в которых должны находиться датчики. С другой – не на всем производственном оборудовании можно поставить современные устройства сбора данных. Если в первом случае невозможно преодолеть ограничения в масштабах одного предприятия, то во втором потребуются значительные временные и финансовые ресурсы.

#### ПАО «СИБУР»

Цифровизацией активно интересуются предприятия нефтехимической отрасли. Например, ПАО «СИБУР Холдинг» не только использует механизмы цифровизации, но и создает их сам.

ПАО «СИБУР Холдинг» – одна из крупнейших отечественных компаний с вертикально-интегрированной структурой, работающая в сфере переработки газов и нефтехимии. Специализируется в двух бизнес-сегментах: олефины и полиолефины; пластики, эластомеры и промежуточные продукты. За 2017 год выручка холдинга составила 454 619 млн руб., EBITDA – 160 851 млн руб., а чистая прибыль – 120 245 млн руб., что на 6,3% больше, чем в предыдущем году [Консолидированная, 2017].

Одной из стратегических целей СИБУРа является повсеместная цифровая трансформация – использование технологий Индустрии 4.0 во всех бизнес-процессах. Она рассматривается как средство добавления инструментария для непрерывных улучшений, активно используется для оптимизации всех производственных процессов. Различные ме-

ханизмы Индустрии 4.0 задействованы практически во всех производственных процессах: от проектирования продукта до производственной безопасности. С их помощью возможно повышать результаты в области производительности, осуществлять изменения быстрее и с возможностью масштабирования и получать более стабильный результат. В качестве фундамента для изменений СИБУР использует два традиционных конкурентных фактора, определяющих общую эффективность бизнеса в нефтехимической отрасли: дешевые средства производства и сырье и разработку химических веществ с новыми свойствами, которые отвечают потребностям потребителей.

Внедрение цифровизации началось 1 декабря 2017 года, а уже в начале 2018 года был создан отдел, который обеспечивает создание и внедрение различных цифровых технологий цифровой революции (дополненная и виртуальная реальность, интернет вещей, наука о данных, машинное обучение, мобильные приложения) во все бизнес-процессы, начиная от поставки сырья на производство и заканчивая продажами [«Сибур»: digital-революция, 2018]. Значительным преимуществом является широкое использование автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) [СИБУР Холдинг, 2018]. Помимо возможности управлять всем процессом из операторной, АСУТП накапливает большое количество данных, которое теперь можно использовать для цифровизации. СИБУР внедряет системы усовершенствованного управления технологическим процессом (СУУТП), производственных систем MES, лабораторных систем LIMS и бизнес-приложения SAPERP. Уже существует некий ИТ-фундамент для дальнейшей цифровизации компании, однако еще нет полной интеграции систем, которая необходима для перехода на технологии Индустрии 4.0.

Вопросом цифровизации СИБУР занимается не так давно, но уже реализовано достаточно много инициатив, еще больше – разрабатывается или уже тестируется.

С помощью технологии коммуникации ближнего поля (Near Field Communication, NFC), которая воплощена в NFC-метках, на планшеты сотрудников выводится информация о задачах, статусе обслуживания и ответственном за

конкретную единицу оборудования. Планшет интегрирован с системами и базами данных предприятия, на нем можно найти всю информацию о работах, которые необходимо выполнить. После завершения работы в системе фиксируются выполнение, время, комплектующие.

Data Science используется для контроля производственных процессов, анализа производственных параметров, что служит фундаментом для прогнозирования явлений и выработки рекомендаций для операторов.

Виртуальная реальность обеспечивает детальное моделирование операций и событий, с которыми сталкивается сотрудник, технология используется для обучения новых сотрудников и повышения квалификации действующих.

RFID-метки позволяют идентифицировать различное оборудование, что существенно упрощает процессы логистики и инвентаризации.

Интеллектуальное видеонаблюдение идентифицирует сотрудников на различных производственных площадках, определяет состояние здоровья и отслеживает производственные процессы. Благодаря этой технологии в московском офисе компании уже отказались от служебных пропусков.

Единые базы данных постоянно пополняются, информация систематизируется, анализируется, на основе чего вырабатываются рекомендации по оптимизации производственных процессов [Цифровая, 2018]. СИБУР старается выбирать технологии, ориентируясь на возможные результаты.

На сегодняшний день уже есть конкретные результаты. На производстве полипропилена удалось уменьшить количество обрывов пленки в 10 раз, значительно увеличить скорость производства [Будущее, 2018]. С помощью анализа большого массива данных от датчиков, установленных на производственных линиях, выявлена корреляция между значениями некоторых параметров производства полуфабрикатов и количеством обрывов пленки. Изменения этих параметров и дали описанный эффект.

Внедрена система, которая дает операторам рекомендации, с тем чтобы они выбрали оптимальный режим производства в меняющихся условиях. Система используется в процессе пиролиза, который протекает с разными наборами

Таблица 4  
Ключевые цифровые инициативы СИБУРа [Цифровая трансформация в СИБУР, 2018]

Реализовано	В работе или на тестировании
Цифровые двойники Data Science. Тренажер в виртуальной реальности. Система управления надежностью. RFID-инвентаризация в офисе. Техническое зрение. Мониторинг строительства дронами/беспилотными летательными аппаратами. Проекты с искусственным интеллектом	Мобильное техобслуживание и ремонт. Цифровые наряды-допуски. Цифровая логистика. Дополненная реальность. Проактивное обслуживание на производстве. Советчики на производстве. Интеллектуальное видеонаблюдение. Роботы в лабораториях, ремонтных цехах, на складах, погрузке/разгрузке. Умные инструменты и умная одежда (носимые устройства и интернет вещей). Экзоскелеты. 3D-печать. Электронный документооборот и электронная площадка торгов (eCommerce). Мобильный LIMS. Сквозная автоматизация бизнес-процессов



исходных параметров и качества сырья и приводит к разным оптимальным режимам работы. На основе анализа предыдущих производственных циклов на дэшборд подается информация, как тот или иной технологический режим влияет на экономическую эффективность производства и что стоит в нем поменять.

Отдельное внимание СИБУР уделяет логистике. Производственные площадки компании находятся на значительном удалении, между ними налажено железнодорожное сообщение. Постоянная транспортировка различных полуфабрикатов между переделами требует железнодорожных платформ и вагонов. Инициатива направлена на систематизацию и оптимизацию групповых отправок, определение наиболее экономически эффективного срока отправки вагона на ремонт. Для решения поставленных задач были консолидированы данные всех систем управления перевозками и календарного планирования, параллельно созданы аналитические инструменты, чтобы оптимизировать организацию перевозок. Результатом проекта, реализованного на железнодорожной станции Денисовка, стала экономия времени при сортировке, повышении управляемости и прозрачности процессов и повышение клиентоориентированности [СИБУР запустил, 2018].

На 22 производственных площадках предстоит уменьшить масштабы реактивного ремонта, исключить отказы оборудования, которые влекут за собой получение не целевых марок продукта, а переходных, что значительно снижает стоимость готовой продукции. СИБУР сделал ставку на проактивное обслуживание оборудования. Разработанная на основе имеющейся базы данных модель позволяет с точностью до 72% определить, когда произойдет отказ экструдера, вала или гранулятора. Это позволило снизить количество аварийных остановок с 5 до 1.

Для упрощения ремонта оборудования используются мобильные решения. В Воронеже запущен пилотный проект: в процессе ремонта оборудования ремонтные бригады отправляют фотоматериалы в соответствующую службу, после чего получают консультации. В случае поломки на производственной площадке в Тобольске работник может транслировать картинку удаленному эксперту, который оперативно даст указания, что именно нужно сделать, в режиме реального времени. Первая консультация была проведена с экспертом из немецкой компании Linde, технологии которой использует СИБУР [«Индустрия 4.0» в действии, 2018]. В результате удастся значительно сократить сроки выполнения ремонтных работ, особенно тех, которые не могут быть решены сразу на месте.

Даже в условиях цифровизации на качество выполняемых работ значительно влияет квалификация сотрудников, «СИБУР Холдинг» проводит специальное обучение персонала по сборке и разборке, ремонту и обслуживанию оборудования с применением технологий виртуальной и дополненной реальности, что позволяет значительно сократить сроки ремонта и увеличить его качество.

Недавно в Томске был установлен специальный тренажер с использованием виртуальной реальности, на котором можно отработать ремонт компрессора. Если раньше, для того чтобы проверить компрессор изнутри, специалисты ожидали запланированной остановки на ремонт, то сейчас вирту-

альная реальность позволяет смоделировать ту или иную аварийную ситуацию, предоставляя полное описание и состояние объекта.

Интересной практикой внедрения технологий цифровизации являются беспилотные летательные аппараты. Их используют для оценки объема работ при строительстве и контроле состояния трубопроводов и технологических объектов. Тестирование аппаратов проходит на АО «СибурТюменьГаз» и на Амурском газоперерабатывающем заводе. С помощью летательных аппаратов удаленно осматривают коммуникации, труднодоступные места, а также трубопроводы для выявления протечек.

В обеспечении безопасности сотрудников также нашла применение цифровизация [Бурлуцкий А. В., Черепанов В. Д., 2017]. «Умный браслет» позволяет определять состояние здоровья сотрудника, пребывание в опасных зонах. Встроенные газоанализаторы информируют о состоянии окружающего воздуха, а тревожная кнопка позволяет максимально быстро получить необходимую помощь.

СИБУР считает целесообразным и дальше внедрять цифровизацию в производственные процессы. К перспективным направлениям отнесены:

- уменьшение доли информации, хранящейся на бумажных носителях, с целью повысить скорость ее обработки – «озера данных» вместо бумагооборота;
- объединение и централизованная обработка массивов информации о железнодорожных перевозках для оптимизации логистических процессов на всех железнодорожных станциях;
- использование 3D-принтеров для оперативного изготовления деталей на месте;
- масштабирование практики применения цифровых средств на других участках работы.

Дальнейшее совершенствование и масштабирование технологий Индустрии 4.0 позволяют значительно увеличить объем продукции ПАО «СИБУР Холдинг».

### Siemens AG

Немецкий концерн Siemens производит и поставляет комплексные решения в области электротехники, электроники, энергетики, медицины, транспорта и связи. Компания показывает положительные финансовые результаты: в 2017 году оборот достиг 83 млрд евро, прибыль – 6,2 млрд евро. Благодаря электрификации, автоматизации и цифровизации по всем направлениям деятельности Siemens активно внедряет технологии Индустрии 4.0 в свои бизнес-процессы, разрабатывает собственные системы и инструменты цифровизации, которые используются другими компаниями.

Отличительной особенностью Siemens на пути к Индустрии 4.0 выступает комплексный подход к изменениям (Totally Integrated Automation, TIA). Компания сосредоточена на технологиях, которые отвечают пяти главным трендам производства:

- Скорость вывода на рынок нового продукта позволяет привлечь больше заказчиков и получить больше прибыли.
- Гибкость производства позволяет выпускать широкий ассортимент продукции в различных модификациях на одной производственной линии, быстрее удовлет-

ворять потребности заказчика и адаптироваться к меняющимся условиям рынка.

- Качество продукции и производства способствует минимизации потерь от брака и повышению лояльности покупателей, обеспечивая компании устойчивое конкурентное преимущество.
- Эффективность производства связана с ускорением, увеличением надежности и уменьшением потерь в процессе производства.
- Эффективность «умного» производства, подразумевающего постоянный обмен данными между производственными единицами, сильно зависит от качества систем кибербезопасности. Без надлежащей защиты критически важных узлов и информации невозможна полная автономность и независимость производственных процессов от возможного вмешательства внешних пользователей, влекущего за собой негативные последствия [Helmrich K., 2015].

В рамках цифровизации используются облачные технологии, робототехника, автоматизация управления знаниями, интернет вещей, моделирование производственных процессов, технология 3D-печати и др. Оптимальный набор определяется исходя из типа производства (дискретный или непрерывный) и цепочки жизненного цикла предприятия, которую использует Siemens (рис. 9). Для различных этапов жизненного цикла производства предлагается довольно широкий ассортимент систем, разработанных Siemens PLM Software.

Для непрерывного производства используются масштабные системы COMOS, SIMATIC CPCS 7, PIA Selector и SIMOTION.

COMOS – система управления проектами, которая применяется в основном для планирования, эксплуатации и технического обслуживания технологических установок и управления ими [SiemensCOMOS, [s.a.]]. Изначально это была интегрированная система программ и программных продуктов для решения инженерных задач в сфере проектирования оборудования. На сегодня система обеспечена централизованным управлением данными и открытой архитектурой, в которой поддерживается объектно-ориентированное программирование. Интерфейсы COMOS позволяют интегрировать систему уже в существующие ИТ-инфраструктуры или применять совместно с другими программными системами. Это позволяет COMOS поддерживать не только планирование, но и рабочие процессы, поэтому технологию могут использовать как проектировщики оборудования для отраслей с непрерывным производством (энергетика, нефтегазовая и химическая отрасли), так и операторы предприятий, внедривших систему.

SIMATIC PCS 7 – одна из наиболее популярных технологий управления процессами на предприятии. Она характеризуется гибкой архитектурой и возможностью интеграции в любую систему автоматизированного управления компании Siemens в рамках концепции комплексного подхода к изменениям [SIMATIC PCS 7, 2015]. По сути, SIMATIC PCS 7 является частью комплексной цифровизации бизнеса в разрезе процессов: от логистики до выпуска готовой продукции. Система позволяет получить доступ к данным конкретных процессов на различных уровнях: планировании ресурсов предприятия (ERP-системы), управления

производственными процессами (MES-системы), управления технологическими процессами (АСУ ТП), что возможно благодаря использованию международных промышленных стандартов для обмена данными. Гибкая комплектация системы позволяет учесть особенности каждого проекта: от цифровизации лаборатории до управления процессами на связанных установках одного предприятия. Стоит отметить, что наибольший эффект достигается в совокупности с другими технологиями, разрабатываемыми Siemens в рамках концепции Индустрии 4.0, поскольку производитель делает ставку на синергетический эффект цифровизации всех производственных процессов.

PIASelector обеспечивает выбор оптимального набора датчиков и аналитических инструментов Siemens с функцией определения направления их использования в процессах автоматизации. Выбираются прежде всего сфера, где может быть применен прибор, собственно оборудование и конкретный способ его использования. Siemens таким образом хочет облегчить выбор оптимальной комплектации продукта среди большого количества номенклатурных позиций [PIA Life Cycle Portal, [s.a.]].

SIMOTION – высокопроизводительная масштабируемая система управления движением [SIMOTION, [s.a.]]. Она позволяет создавать многократно используемые программные модули, повышающие эффективность разработки оборудования. Сделана ставка на модульность, точность и скорость работы. SIMOTION разрабатывалась с учетом возможности быстрой интеграции с другими продуктами и системами Siemens в рамках TIA. Например, система применена для модернизации линии лущения шпона, что обеспечило бесперебойную работу установки и параллельное снижение энергопотребления на производственной площадке группы «ИЛИМ».

Для дискретного производства созданы аналогичные продукты (Teamcenter, NX, Technomatrix и SIMATIC CIT), которые лучше приспособлены для нужд соответствующих отраслей: машиностроения, производства электроники и компьютеров, медицинского оборудования и др.

Teamcenter – пакет программных решений для поддержки жизненного цикла изделия (PLM) на основе открытой платформы. Основное предназначение – управление данными об изделии на протяжении всего жизненного цикла: от проектирования до автоматизации процессов постпродажного технического обслуживания и ремонта. Обмен данными возможен в режиме реального времени [Управление данными, [б.г.]]. Teamcenter обеспечивает комплексную визуализацию изделия с учетом всей информации о нем и пометками, наносимыми на 3D-модель и в документацию в случае необходимости. Это позволяет организовать взаимодействие между всеми участниками процесса проектирования и производства. В результате устанавливается безбумажный процесс согласования документации. Кроме того, система позволяет моделировать как конечный продукт, так и изменение его характеристик: можно посмотреть, как выглядит деталь, сое-

Рис. 9. Цепочка жизненного цикла продукта  
[The Digital Enterprise 2D/3D Simulation Software from Siemens, 2015]



динить несколько деталей в одну, протестировать на изгиб, посмотреть, как будет распространяться температура. Пакет решений применяется на различных предприятиях отечественного авиастроения, вертолетостроения, энергомашиностроения и других отраслей. Teamcenter используют НПО «Искра», АО «Калужский завод «Ремпутьмаш»», АО «Авиадвигатель», ПАО «УАЗ» и другие.

NX – интегрированное решение для конструкторско-технологической подготовки производства [Обзор, 2015]. Его применяют как самостоятельную систему, так и управляющий продукт, интегрированный в уже существующую программную среду. NX позволяет определить взаимодействия детали с другими изделиями, протестировать полученную конструкцию и определить узкие места. NX применим на всех этапах создания цифрового макета изделия и технологической подготовки производства, что обеспечивается объединением функций для более продуктивной разработки изделий:

- решения в области эскизного проектирования, 3D-моделирования и создания документации;
- средства для расчетов прочности, кинематики, теплопередачи, газогидродинамики и междисциплинарного анализа физических явлений;
- решения для технологической подготовки производства деталей оснастки, проектирования процессов механической обработки и контроля качества [Siemens NX, [s.a.]].

Technomatrix – комплексный пакет решений для цифровизации, охватывает все области производства и разработки изделия: от схемы производственного процесса до непосредственного производства [Siemens TECNOMATRIX, [s.a.]]. Решение позволяет проводить 3D-симуляцию, решать задачи имитационного моделирования и программирования промышленных роботов, осуществлять виртуальную пусконаладку линий, определять ошибки проектирования. Technomatrix включает широкий спектр программных продуктов, для которых характерны возможность и автономного применения, и в режиме совместимости с другими продуктами, в том числе под управлением Teamcenter. К преимуществам Technomatrix можно отнести сокращение сроков подготовки производства, упрощенное создание конструкторски сложных изделий, увеличение рентабельности и оптимизации технологии производства за счет распределения инвестиций между несколькими продуктовыми линейками на этапе проектирования и моделирования. Решение Technomatrix получило достаточно широкое распространение в различных отраслях: автомобилестроении (КАМАЗ, Volvo, BMW, Mazda), авиационно-космической промышленности (Boeing), машиностроении и электротехнике (Caterpillar), телекоммуникационном оборудовании (Motorola) и др.

SIMATIC IT является аналогом SIMATIC PCS 7 для дискретного производства. Продукт позволяет построить MES-систему, управлять спецификациями продукции и цепочками поставок, комплексно моделировать производственные процессы организации, определять их возможности и получать информацию с уровней ERP и производства и управлять ею. Это модульная система, которая состоит из взаимодействующих между собой программных компонентов, позволяющих решить все необходимые MES-задачи, описанные

в соответствующем стандарте ISA-95. Основное преимущество составляет моделирование сложных бизнес-процессов и структур производства, которые остаются полностью прозрачными, понятными, независимыми от функционирования реальных систем управления [SIMATIC IT, 2004]. Моделирование может происходить в любой точке предприятия, обеспечивает стандартизацию процессов, а наиболее удачные методы управления могут быть распространены на другие бизнес-единицы или все предприятие. Это особенно удобно для международных холдингов, имеющих производственные площадки в разных странах мира. Встроенные процессы управления качеством – поддержка визуального контроля, автоматизированный сбор информации об операциях, управление дефектами – поддерживают различные методологии управления, в том числе шесть сигм.

Общей технологией для обоих типов производства выступает открытая облачная информационная система MindSphere, которая представляет собой ключевой элемент мощной операционной системы, основанной на технологии интернета вещей [MindSphere позволяет, [б.г.]]. Она позволяет связать оборудование компании и физическую инфраструктуру с цифровым облаком, что обеспечивает получение информации, необходимой для трансформации бизнеса и превентивного обслуживания оборудования. MindSphere наделена функциями анализа данных, средствами для разработчиков, приложениями и сервисами. К основным преимуществам системы можно отнести следующее:

- открытый стандарт «OPC с унифицированной архитектурой» (OPCUA), который обеспечивает должный уровень связи для соединения различных продуктов;
- облачная инфраструктура позволяет использовать облачные технологии в виде закрытой системы;
- новое оборудование напрямую подключается к MindSphere в любых масштабах;
- открытые интерфейсы предназначены для индивидуальных приложений клиентов.

Так, внедрение технологии самой компанией Siemens позволило сократить время простоя на 10%, на производственной площадке Coca-Cola технология обеспечила сокращение простоя на 15%, одновременное снижение расходов на техническое обслуживание на 5% [MindSphere – Открытая, [б.г.]].

Применение комплекса описанных технологий и подобных им необходимо для создания виртуальной производственной системы («цифровой тени»), которая всегда актуальна и расширяется в течение всего жизненного цикла [TIA Portal V14, [s.a.]]. Совокупность физического производственного оборудования и «цифровой тени» содержит всю информацию о механике, электрике, автоматизации, человеко-машинном интерфейсе, безопасности состояния, версии ПО и других параметрах. По сути, полная интеграция физической и виртуальной составляющих и есть цифровизация производства, которая является конечной целью изменений. Сначала отражение физического производства в цифровом виде, а потом и интеграция двух полученных частей невозможны без совершенствования производства посредством построения автоматизированной системы с помощью технологий Индустрии 4.0. Полная же интеграция будет достигнута тогда, когда все процессы производства будут автоматизированы.

Все упомянутые технологии – реально используемые инструменты, повышающие эффективность производственных процессов. Целесообразность их внедрения демонстрирует сам концерн Siemens – один из лидеров цифровизации. Компания внедряет собственные разработки на все свои предприятия, однако наибольшие успехи были достигнуты на заводе Siemens Electronics Works Amberg (Амберг, Германия), где автоматизировано 75% всех производственных процессов. Среди прочего там выпускают контроллеры SIMATIC, составляющие аппаратную часть одноименной системы. 50 млн точек данных генерируют постоянный поток данных, который собирается и анализируется соответствующими программными системами. Одной из таких систем является технология Teamcenter, которая получила наиболее широкое распространение. Цифровизация позволила сократить время изменения конструкции продукции и производственных процессов до нескольких минут. Благодаря этому в автоматическом режиме можно производить более 1200 обслуживаемых в Teamcenter артикулов продукции, которые отгружаются более чем 60 000 потребителей. При этом уровень качества достигает 99,9% [Как умный завод, [б.г.]].

Технологии Siemens используют и производители эксклюзивных автомобилей, например Maserati. Внедрение технологий привело к сокращению времени сборки и увеличению выпуска продукции. Время разработки новой модели уменьшилось на 30% за счет оцифровки производственных процессов: отладки, сборки и симуляции. Кроме того, в три раза расширился ассортимент моделей.

От своих западных коллег стараются не отставать и отечественные производители. Крупнейший российский автопроизводитель ПАО «КАМАЗ» вдвое сократил срок реализации проектов, используя технологии Индустрии 4.0, в том числе поставляемые компанией Siemens [«КАМАЗ» и компания, 2017]. На производстве внедрены программные продукты NX, Teamcenter и Technomatrix, они уже используются для цифрового моделирования процесса производства и сборки грузовиков. В 2017 году между ПАО «КАМАЗ» и компанией Siemens заключено соглашение, где идет речь о внедрении концепции «Индустрия 4.0» в разрезе создания цифровых двойников изделия и производства и выработки корпоративного стандарта «КАМАЗ» в сфере цифровизации. Комплексный подход к использованию технологий позволит компании сохранить лидирующие позиции на мировом рынке производителей грузовых автомобилей и двигателей.

На основании анализа кейсов можно сделать вывод о том, что рассмотренные компании находятся на разных стадиях трансформации операционной модели (рис. 10). Данное распределение базируется на изученных материалах, согласно которым:

- ПАО «НЛМК» апробирует пилотные проекты и прототипы на отдельных частях производственных и поддерживающих процессов, а также имеет программу мероприятий на ближайшее будущее. Одной из наиболее сложных задач для НЛМК при реализации концепции цифровой фабрики является адаптация технологий к тяжелым температурным и физическим ус-

ловиям производства, характерным для металлургической промышленности.

- ПАО «СИБУР» удалось продвинуться несколько дальше – сейчас внедряется 15 проектов по инновационным процессам на 8 из 22 производственных площадок холдинга. Полностью цифровой завод еще пока не создан, но томский завод уже приближается к этой отметке, т.к. там трансформирован значительный объем процессов.
- Siemens AG является одним из мировых лидеров трансформации. Конечная стадия еще пока не достигнута, поскольку разные производственные площадки изменяются с разной скоростью. При этом уже активно развиваются инициативы по интеграции горизонтальных цепочек создания ценности.

## ВЫВОДЫ

Переход от высокоуровневых стратегических инициатив по трансформации бизнеса при помощи современных технологий к росту эффективности повседневной деятельности возможен за счет развития операционной модели. В статье рассмотрены такие ключевые измерения, как процессы и информационные технологии, которые непосредственно обеспечивают цифровую трансформацию. Развитие указанных измерений проходит несколько последовательных уровней зрелости, пропуск которых для осуществления «скачка» сопряжен с организационными и финансовыми сложностями. Традиционные пять уровней зрелости процессов и информационных технологий были дополнены цифровым уровнем, поскольку стратегия цифровизации выдвигает новые требования к операционной эффективности предприятий. Стоит также отметить, что выбор и ускоренная трансформация отдельно взятого производственного процесса при помощи инновационной технологии не имеет отношения к цифровизации всего предприятия. В связи с этим представлены пять стадий трансформации операционной модели: предцифровая стадия, стадия «пилотные проекты», стадия «цифровые фабрики», стадия «частичная цифровизация» и стадия «полная цифровизация». Концепция цифровой фабрики детально рассмотрена через призму конкретных технологий.

Кейсы компаний ПАО «НЛМК», ПАО «СИБУР», Siemens AG ценны тем, что показывают продвижение по стадиям цифровизации операционной модели. Структурированный подход к изучению кейсов обеспечивается посредством пошагового исследования широкого спектра производственных процессов и инициатив по их развитию. Анализ операционной модели дает рабочий шаблон для реализации инициатив, позволяет составить перечень процессов и технологий, которые могут быть внедрены на производстве.

Рис. 10. Распределение кейсов по стадиям цифровизации операционной модели





В дальнейшем представляется целесообразным изучить принципиальную возможность строительства цифровой фабрики с нуля, без обязательного прохождения всех уровней зрелости, возможные барьеры на этом пути, например недостаточно зрелые управленческие практики, слабая интеграция информационных систем, недостаточная квалификация имеющихся кадров и др.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Будущее здесь. Нюансы цифровизации экономики // ГазпромНефть. URL: <http://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-may/1589541/>.
2. Бурлуцкий А. В., Черепанов В. Д. (2017) Цифровой завод // СИБУР. URL: <https://www.sibur.ru/upload/iblock/0d2/0d2da1eede2be3e8ccee1ad4de33542b.pdf>.
3. Гришина А. (2017) 7 кейсов использования технологий BigData в сфере производства // habr. URL: <https://habr.com/company/newprolab/blog/325550/>.
4. Группа НЛМК первой в СНГ перешла на SAP S/4HANA для решений Индустрии 4.0 (2018) // URL: <https://nlmk.com/ru/media-center/news-groups/nlmk-group-introduces-sap-s-4hana-for-industry-4-0-solutions-first-in-the-cis/>.
5. Группа НЛМК представила проекты цифровой трансформации на SAP Forum (2018) // НЛМК. URL: <https://lipetsk.nlmk.com/ru/media-center/press-releases/nlmk-group-presents-digital-transformation-projects-at-sap-forum/>.
6. Журнал «Компания НЛМК» ( [б.г.] ) // НЛМК. URL: <https://nlmk.com/ru/media-center/corporate-media/>.
7. Засолоцкая Е. (2017) Проактивный образ жизни: новая стратегия управления ТОиР Группы НЛМК // Управление производством. URL: [http://www.up-pro.ru/library/repair/repair\\_organisation/proaktivnyj-toir.html](http://www.up-pro.ru/library/repair/repair_organisation/proaktivnyj-toir.html).
8. «Индустрия 4.0» в действии: в Тобольске начали опытно-промышленную эксплуатацию технологий дополненной реальности (2018) // СИБУР. URL: <https://career.sibur.ru/news/industriya-4-0-v-deystvii-v-tobolske-nachali-opytno-promyshlennuyu-ekspluatatsiyu-tekhnologiy-dopoln/>.
9. Искусственный интеллект – уже на НЛМК (2018) // Металлоснабжение и сбыт. URL: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/comments101473.html>.
10. Казанцев А. (2017) Проектирование будущего: BIM-технологии в НЛМК-Инжиниринг // Управление производством. URL: [http://www.up-pro.ru/library/information\\_systems/project/proektirovanie-nlmk.html](http://www.up-pro.ru/library/information_systems/project/proektirovanie-nlmk.html).
11. Как умный завод Siemens использует данные для повышения качества продукции и улучшения производительности работы ( [б.г.] ) // Intel. URL: <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/internet-of-things/iot-siemens-smart-factory.html>.
12. «КАМАЗ» и компания «Сименс АГ» подписали соглашение о сотрудничестве (2017) //КАМАЗ. URL: [https://kamaz.ru/press/releases/kamaz\\_i\\_kompaniya\\_simens\\_ag\\_podpisali\\_soglashenie\\_o\\_sotrudnichestve/](https://kamaz.ru/press/releases/kamaz_i_kompaniya_simens_ag_podpisali_soglashenie_o_sotrudnichestve/).
13. Ключевые операционные и финансовые показатели ([б.г.] ) // НЛМК. URL: <https://nlmk.com/ru/ir/financial-results/>.
14. Консолидированная финансовая отчетность, подготовленная в соответствии с МСФО, и отчет независимого аудитора (2017) // ПАО «СИБУР Холдинг». URL: [http://investors.sibur.com/~media/Files/S/Sibur-IR/Financial-results/sibur\\_ifrs\\_12m2017\\_rus.pdf](http://investors.sibur.com/~media/Files/S/Sibur-IR/Financial-results/sibur_ifrs_12m2017_rus.pdf).
15. НЛМК внедрил систему на базе интернета вещей для предотвращения травм и смертей на производстве ([б.г.] ) // TADVISER. URL: [www.tadviser.ru/index.php/Проект:\\_НЛМК\\_%28система\\_3D-позиционирования\\_сотрудников\\_на\\_производстве%29](http://www.tadviser.ru/index.php/Проект:_НЛМК_%28система_3D-позиционирования_сотрудников_на_производстве%29).
16. НЛМК построил ИТ-инфраструктуру для работы с большими данными (2018) // Вестник цифровой трансформации CIO.RU. URL: <https://www.cio.ru/news/130618-NLMK-postroil-IT-infrastrukturu-dlya-raboty-s-bolshimi-dannymi>.
17. Обзор модулей CAD/CAM/CAE системы NX 10 (2015) // IdealPLM. URL: [http://www.ideal-plm.ru/uEditor/files/4/397/ObzormoduleyCAD\\_CAM\\_CAEsistemiNX10.pdf](http://www.ideal-plm.ru/uEditor/files/4/397/ObzormoduleyCAD_CAM_CAEsistemiNX10.pdf).
18. Рагимова С. ([б.г.] ) Цифровая Индустрия 4.0 // Forbes. URL: <http://www.forbes.ru/brandvoice/sap/345779-chetyre-nol-v-nashu-polzu>.
19. СИБУР запустил проект по цифровизации логистики [2018] // СИБУР. URL: <https://www.sibur.ru/press-center/news/SIBUR-zapustil-proekt-po-tsifrovizatsii-logistiki/>.
20. СИБУР Холдинг начинает переходить к «Индустрии 4.0» (2018) // Химическая техника. URL: <https://chemtech.ru/sibur-holding-nachinaet-perehodit-k-industrii-4-0/>.
21. «Сибур»: digital-революция в нефтехимическом производстве (2018) // HH.ru. URL: <https://hh.ru/article/312408>.
22. Тарасов И. В. (2018) Технологии Индустрии 4.0: влияние на повышение производительности промышленных компаний // Стратегические решения и риск-менеджмент. № 2. С. 62–69.
23. Трансформация операционной модели ( [б.г.] ) // KPMG. URL: <https://home.kpmg.com/ru/ru/home/services/advisory/management-consulting/operational-excellence/operating-model-transformation.html>.
24. Трачук А. В. (2014) Бизнес-модели для гиперсвязанного мира // Управленческие науки современной России. Т. 1, № 1. С. 20–26.
25. Трачук А. В. (2012) Инновации как условие долгосрочной устойчивости российской промышленности // Эффективное Антикризисное Управление. № 6 (75). С. 66–71.
26. Трачук А. В. (2013) Формирование инновационной стратегии компании // Управленческие науки. № 3. С. 16–25.
27. Трачук А. В., Линдер Н. В. (2016а) Адаптация российских фирм к изменениям внешней среды: роль инструментов электронного бизнеса // Управленческие науки. № 1. С. 61–73.
28. Трачук А. В., Линдер Н. В. (2016б) Методика многофакторной оценки инновационной активности холдингов в промышленности // Научные труды Вольного экономического общества России. Т. 198. № 2. С. 298–308.
29. 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.
30. 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.
31. Трачук А. В., Линдер Н. В. (2017в). Инновации и производительность российских промышленных компаний // Инновации. № 4 (222). С. 53–65.
32. 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.
33. Трачук А. В., Линдер Н. В., Убейко Н. В. (2017) Формирование динамических бизнес-моделей компаниями электронной коммерции // Управленец. № 4 (68). С. 61–74.
34. Трачук А., Тарасов И. (2015). Исследование эффективности инновационной деятельности организаций на основе процессного подхода // Проблемы теории и практики управления. № 9. С. 52–61.
35. Управление данными об изделии на базе Teamcenter ([б.г.] ) // Ideal PLM. URL: <http://www.ideal-plm.ru/uPage/Teamcenter>.
36. Цифровая трансформация в СИБУРе (2018) // Материалы конференции «Менеджмент будущего 2018». URL: <https://career.sibur.ru/zsn/SIBUR%20digital%20transformation.pdf>.
37. Шустиков В. (2017) Цифровой двойник (DigitalTwin) – элемент, которого так не хватало! // Сколково. URL: [https://sk.ru/news/b/pressreleases/archive/2017/06/23/cifrovoy-dvoynik\\_2800\\_digital-twin\\_2900\\_-1320\\_-element-kotorogo-tak-ne-hvatalo\\_2100\\_.aspx](https://sk.ru/news/b/pressreleases/archive/2017/06/23/cifrovoy-dvoynik_2800_digital-twin_2900_-1320_-element-kotorogo-tak-ne-hvatalo_2100_.aspx).
38. BIM-проектирование ([б.г.] ) // НЛМК Инжиниринг. URL: <https://engineering.nlmk.com/ru/responsibility/technology/>.
39. Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing (2017) // PricewaterhouseCoopers. URL: <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digital-factories-2020-shaping-the-future-of-manufacturing.pdf>.
40. Helmrich K. (2015) Auf dem Weg zu Industrie 4.0 – Das Digital Enterprise // Siemens. URL: <https://www.siemens.com/press/pool/de/events/2015/digitalfactory/2015-04-hannovermesse/presentation-d.pdf>.
41. Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector ([s.a.] ) // McKinsey & Company. URL: [http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/mck\\_industry\\_40\\_report.pdf](http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/mck_industry_40_report.pdf).
42. Khan N., Lunawat G., Rahul A. Toward an integrated technology operating model ([s.a.] ) // McKinsey & Company. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/toward-an-integrated-technology-operating-model>.
43. MindSphere – Открытая облачная платформа ([s.a.] ) // Цифровая трансформация производств. URL: [http://industry-software.ru/conf2017/slides/08-Mikhaylin-MindSphere-open\\_platform\\_for\\_the\\_IoT\\_from\\_Siemens.pdf](http://industry-software.ru/conf2017/slides/08-Mikhaylin-MindSphere-open_platform_for_the_IoT_from_Siemens.pdf).
44. Mind Sphere позволяет вести диалог с Интернетом вещей ([б.г.] ) // Siemens. URL: <https://www.siemens.com/ru/ru/home/produkty/programmnoe-obespechenie/mindsphere.html>.
45. Operating model ([s.a.] ) // Ernst & Young. URL: <https://www.ey.com/gl/en/industries/oil---gas/ey-operational-excellence-in-oil-and-gas-operating-model>.
46. Our solutions – Operating model ([б.г.] ) // Price water house Coopers. URL: <https://www.strategyand.pwc.com/cds/operating>.
47. PIA Life Cycle Portal. URL: <https://www.pia-portal.automation.siemens.com/default.html>.
48. SAP S/4HANA – единое пространство для всех бизнес-направлений и инноваций (2015) // CNews. URL: [http://www.cnews.ru/articles/2015-10-12\\_sap\\_s4hana\\_edinoe\\_prostranstvo\\_dlya\\_vseh\\_biznesnapravlenij](http://www.cnews.ru/articles/2015-10-12_sap_s4hana_edinoe_prostranstvo_dlya_vseh_biznesnapravlenij).
49. Siemens COMOS ([s.a.] ) // Mescada. URL: <http://www.mescada.com/portfolio/siemens-comos>.
50. PIA Life Cycle Portal ([s.a.] ) // Siemens. URL: <https://www.pia-portal.automation.siemens.com/default.htm>.
51. Siemens NX ([s.a.] ) // Tadviser. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Siemens\\_NX](http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Siemens_NX).
52. Siemens TECNOMATIX ([s.a.] ) // TATA technologies. URL: <https://www.tatatechnologies.com/us/technology/siemens/siemens-tecnomatix/>.
53. SIMATIC IT: MES and beyond (2013) // Siemens. URL: [https://www.ien.eu/uploads/tx\\_etim/Page\\_16\\_17\\_Siemens\\_47391.pdf](https://www.ien.eu/uploads/tx_etim/Page_16_17_Siemens_47391.pdf).
54. SIMATIC PCS 7 Process Control System (2015) // Siemens. URL: [https://w5.siemens.com/italy/web/A/D/ProdottieSoluzioni/Sistemiamotomazionenew/PCS7/Documents/Catalogo%20SIMATIC%20PCS%207%20\(inglese\).pdf](https://w5.siemens.com/italy/web/A/D/ProdottieSoluzioni/Sistemiamotomazionenew/PCS7/Documents/Catalogo%20SIMATIC%20PCS%207%20(inglese).pdf).
55. Simon K Reinhard Gr. (2016) Industry 4.0 – Opportunitie sand Challenges of the Industrial Internet assessment.pwc.de/i40/study.pdf.
56. SIMOTION – the high-end motion control system ([s.a.] ) // Siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems/motion-control.html>.
57. The Digital Enterprise 2D/3D Simulation Software from Siemens (2015) // Siemens. URL: [https://dau.dk/Content/file\\_knowledge\\_item/DAU\\_3D\\_simulering\\_v1-siemens\\_226\\_INT.pdf](https://dau.dk/Content/file_knowledge_item/DAU_3D_simulering_v1-siemens_226_INT.pdf).
58. TIA Portal V14 ([s.a.] ) // Siemens. URL: [https://www.pta-expo.ru/moscow/2017/pdf\\_k\\_programme2017/02Siemens.pdf](https://www.pta-expo.ru/moscow/2017/pdf_k_programme2017/02Siemens.pdf).