



СКОЛКОВО
Московская школа управления

ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО

МЕТОДЫ, ЭКОСИСТЕМЫ,
ТЕХНОЛОГИИ



Рабочий доклад Департамента Корпоративного обучения
Московской школы управления СКОЛКОВО
Ноябрь 2017 года



Содержание

Введение	2
Структура доклада	8
Ускорение диффузии технологий	10
Глава 1. Ключевые системы и компоненты цифрового производственного предприятия	16
Глава 2. Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения	24
Глава 3. Комплексная оценка развития предприятия	36
Глава 4. Развитие корпоративной инновационной системы	52
Глава 5. Мобилизаторы: экосистема центров прототипирования продуктов и моделирования бизнес-процессов	62
Глава 6. Управление цифровым жизненным циклом продуктов: автономные производства в следующие 5 лет	70
Список источников	78
Приложения	80
Авторы и партнеры	82



Андрей ШАРОНОВ

Президент Московской
школы управления СКОЛКОВО

Скорость прогресса государства и отдельно взятой компании сегодня определяется двумя вещами: зрелостью технологий и критической массой лидеров и команд, готовых наиболее эффективным образом их использовать. И люди являются тут чуть ли не главным звеном: если технологии готовы, а управленческих команд, управляющих процессом, еще нет, то в финале мы вряд ли можем ждать прорыва.

Кризис развития технологий и отраслей происходит от кризиса лидеров. На наш взгляд, это одно из существенных ограничений развития нашей страны. Людей, готовых брать на себя лидерство в этой сфере, нужно растить, развивать определенные компетенции и, таким образом, расширять класс технологических предпринимателей и управленцев.

Мы наблюдаем, как развитые компании инвестируют время и ресурсы в активное развитие ключевых управленческих систем и технологий. Доля человеческого труда в простых, повторяющихся операциях снижается, что позволяет перейти к полностью автономным цифровым производственным циклам. 2016 год – год появления операционно-эффективных автоматических заводов. Цеха Tesla и Flex наглядный тому пример. В течение следующих 10 лет, вслед за уже изменив-

шимися пилотными предприятиями, в производстве изменится чуть ли не все. И если у нас нет сознательного желания уйти с этой сцены, то единственный выход – развить достаточную скорость, чтобы приблизиться к лидерам.

Новые продукты сегодня появляются не из государственных заказов, а из инновационных коворкингов и лабораторий. Развитие этой индустрии начинается с создания и развития среды, которая поощряет и дает стимулы для созидания.

Отчет, который вы держите в руках, отвечает определенной логике: мы начинаем с описания наиболее актуальных и эффективных ключевых управленческих и технологических систем. Вторая глава посвящена новой парадигме цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения. Третья глава посвящена диагностике, развитию стратегии и созданию инструментов управления проектами. Четвертая – развитию корпоративных инновационных центров, пространств, в которых создаются новые продукты и бизнес-модели. В пятой приведен анализ экосистем технологического предпринимательства разных стран и мобилизаторов – центров трансформации индустрий внутри таких экосистем. В шестой, завершающей главе, приведено описание системы автономного цифрового производства.



Марат АТНАШЕВ

Ректор Московской
школы управления СКОЛКОВО

Цифровая трансформация бросает новый тип вызова бизнес-школам везде в мире. С одной стороны, необходимо обеспечить в учебных курсах присутствие цифровой повестки, адекватной запросам современного корпоративного управления. С другой стороны, как учить предмету, который постоянно меняется и в котором многие ведущие теоретики и практики ведут напряженные споры о феноменах и тенденциях?

Ответ бизнес-школы СКОЛКОВО состоит в том, чтобы соединять глубокие первичные исследовательские проекты с постоянным взаимодействием с ключевыми практиками из всех отраслей, затронутых цифровой трансформацией.

Трансформация – это всегда вызов, ответ на который требует превыше всего сильного лидерства. В случае с цифровой трансформацией, с ее быстро меняющимся образом будущего и постоянным творческим разрушением устоявшихся бизнес-моделей и подходов, сильное лидерство должно возникать не только на верхних уровнях организации, но и по всему «телу». В принципе каждый сотрудник должен стать своего рода лидером, вовлеченным в процесс планирования преобразований и наделенный полномочиями воплотить планы в жизнь. В Московской школе управления СКОЛКОВО мы помогаем нашим студентам освоить и

принять культуру постоянного развития и адаптации к быстро меняющейся деловой среде. Мы верим, что это умение поможет им в цифровую эру стать лидерами мирового класса.



Максим ШЕРЕЙКИН

Генеральный директор
Агентства по технологическому развитию

Скорость, с которой новые технологии входят в нашу жизнь, становится уже феноменальной. Электричеству потребовалось 30 лет, чтобы охватить максимальное количество пользователей, телефону – 20, сотовому телефону потребовалось меньше 5 лет на адаптацию, планшетному компьютеру и вовсе три. Да что говорить, еще год назад я не мог себе представить, что смогу расплатиться телефоном в магазине. Все это наводит на мысли, что через 10 лет наша «цифровая жизнь» станет неузнаваемой. Проще, быстрее, функциональнее – вот к чему стремятся сегодня все технологии.

В этом ключе у цифрового производства весьма впечатляющие перспективы. Мировая экономика уже переведена на электронные рельсы, цифровые технологии позволили создать тысячи автоматизированных производств, где машины заменяют человека.

На самом деле мы уже вовлечены в четвертую промышленную революцию или «Индустрию 4.0». В рамках Четвертой промышленной революции ключевым аспектом становится так называемое цифровое производство. Это многоуровневая система с электронными датчиками, собирающими точные данные и обладающими аналитическими инструментами для анализа получаемой информации. Переход промышленности к такому виду деятельности повлечет за собой выпуск более качественной продукции и создаст новый мир производства, в котором будет наблюдаться более быстрое изготовление нестандартных вещей и высокая кастомизация массовых изделий. В конечном итоге, эффективность будет максимальной, а труд людей минимальным.

С другой стороны, потребность в умелых управленческих командах также вырастет. Ведь именно они будут управлять проектами, видеть перспективу и решать задачи.

В связи с этим, Агентство по технологическому развитию приветствует новый проект по развитию цифрового производства в Московской школе управления СКОЛКОВО. Мы рады выступить партнерами данного проекта, поскольку выполняем, по сути схожие задачи. Ищем новые технологии, лучшие возможности для развития российской промышленности.

За цифровыми технологиями будущее!



Алексей БОРОВКОВ

Проректор по перспективным проектам Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, лидер-соруководитель рабочей группы «Технет» НТИ, лидер мегапроекта «Фабрики Будущего»

Глобальная цифровая трансформация – уже давно не абстрактный тренд, а современная реальность, в полной мере определяющая развитие компаний и глобальных рынков. Программа Industrie 4.0 была предложена в Германии в 2011 году, но этому моменту предшествовала многолетняя работа, в ходе которой фактически формировался технологический отрыв от конкурентов. Это означает, что для обеспечения конкурентоспособности на глобальных рынках в перспективе 10–20 лет, – а именно на это ориентирует Национальная технологическая инициатива (НТИ), – высокотехнологичной компании нужно быть лидером уже сейчас.

Цифровая модель развития предполагает не только тотальную цифровую трансформацию экономики и высокотехнологичной промышленности, но и учет триады требований современного глобального рынка: сокращение времени принятия решений (Time-to-Decision, T2D), их исполнения (Time-to-Execution, T2E) и вывода продукции на рынок (Time-to-Market, T2M), где под рынком, конечно, понимается глобальный рынок.

Разработка и производство в кратчайшие сроки глобально конкурентоспособной кастомизированной продукции нового поколения возможны сегодня с применением Фабрик Будущего (Factories of the Future) – систем комплексных технологических решений, ключевым элементом которых становятся «умные» модели и цифровые двойники

(Smart Digital Twins) изделий и процессов (технологических, производственных и др.).

Учитывая уровень образования, науки и креативности России, комплексирование передовых производственных технологий с добавлением собственных интеллектуальных ноу-хау, разработка «умных» моделей и цифровых двойников, создание «умных» производств могут стать реальными конкурентными преимуществами страны в условиях стремительно разворачивающейся Четвертой промышленной революции.

Уверен, что данный рабочий доклад предложит производственным предприятиям конкретные актуальные темы для размышлений, ориентиры в вопросах цифровой трансформации высокотехнологичных компаний, будет способствовать решению проблем-вызовов, с которыми они сталкиваются в контексте Четвертой промышленной революции, и даст импульс к развитию лидерства российских высокотехнологичных компаний на глобальных рынках.



Денис КОНАНЧУК

Академический директор
Московской школы
управления СКОЛКОВО

С началом бума информационных технологий конца XX века большинство компаний пытались получить от этого выгоду, автоматизируя существующие бизнес-процессы. В результате, отдельные автоматизированные рабочие места получали существенный прирост производительности, но в целом бизнес оставался таким же консервативным и неэффективным, как и раньше. Огромные инвестиции в новейшие ИТ-технологии не окупались – они устаревали быстрее, чем компания получала отдачу.

Экономический эффект от автоматизации получали лишь те компании, которые перестраивали свои процессы и бизнес-модели: проводили децентрализацию, передавали независимым подрядчикам отдельные функции, меняли процессы управления ресурсами, добивались эффективности цепочек поставок. В то же время компании, которые просто выдали современные компьютеры своим сотрудникам вместо привычных калькуляторов, эффекта от такой квази-автоматизации не замечали.

Для обеспечения эффективности работы новой технологической платформы, компаниям придется значительно изменять свои бизнес-процессы. И главное, развивать основной капитал современной экономики – лидеров и команды.

В ближайшие годы благодаря «цифровой революции» скорость изменений возрастет еще больше. Роботы и компьютеры могут почти полностью заменить людей в таких задачах как сбор и анализ данных, физический труд. Даже такая

профессия как «менеджмент», традиционно граничащая с персональным искусством управленца, имеет потенциал замены машинным интеллектом более, чем на треть. В таких условиях важно делать ставку на развитие тех качеств и компетенций, которые пока что не подвластны машинному интеллекту – креативность, эмоциональный интеллект, способность решать комплексные задачи и предлагать новые нестандартные решения.

Исследование бизнес-школы СКОЛКОВО показало, что российские менеджеры по профилю компетенций в целом соответствуют своим иностранным коллегам (опережая их в знании «Корпоративных финансов», «Слияний и поглощений»). Однако мы значительно отстаем по таким критическим навыкам как «командное лидерство», «работа в кросс-функциональных командах», «развитие новых продуктов» и «продажи».

Вот почему именно сегодня так важны независимые и состоявшиеся образовательные проекты, которые консолидируют опыт, лучшие практики и извлеченные уроки компаний-лидеров и аутсайдеров. Академические платформы таких проектов создают практическое знание на основе накопленного опыта. Такая совместная работа компаний и образовательных платформ – сегодня один из основных драйверов цифровой экономики. Предлагаемую последовательность действий мы представляем в настоящем докладе.



Павел БИЛЕНКО

Руководитель образовательных программ по направлениям Индустрии 4.0 Московской школы управления СКОЛКОВО

Наше поколение рождено для решения очень увлекательных задач, которые зависят прежде всего от нашего собственного внутреннего мира, внутреннего вызова. Как сохранять проактивность, внутренний локус контроля, ответственность и самостоятельность в системах, стремящихся обобщить, ограничить и усреднить? Как в условиях роста жесткой силовой доминанты быть автором и созидателем? Как не удариться в критиканство или наоборот - идолопоклонничество?

На эти вопросы каждый отвечает для себя сам. Есть люди, которые отвечают идеей «новые (технологические) возможности возникают и экспоненциально развиваются в стороне от старых (социальных, экономических) проблем, игнорируют их, а потом незаметно уничтожают их причину».

Эта мысль Егора Заикина, директора по развитию проекта ExactFarming, первой ERP системы для фермеров, много значит для нового поколения российских лидеров. Например, что среди огромного количества импульсов один из самых сильных сегодня, может быть, такой же сильный, как само время - ускоренная диффузия технологий. Изменяющая все вокруг сильнее и быстрее, чем мы можем представить. Волны времени - волны технологий достаточно беспощадны к неэффективным, не созидательным проектам, инициативам и компаниям.

В наших силах сделать так, чтобы эти изменения происходили в лучшую сторону. Важно, работая вместе, создавая партнерства, направить вектор волн изменений на создание сильной цифровой экономики.

План действий этой работы мы постарались собрать на страницах доклада, который вы держите в руках.

За проведение исследования и создание доклада большое спасибо опытным инженерам и производственникам, перечисленным на листе авторов. Спасибо команде специалистов, с которыми в течение последних десяти лет мы выполнили сложнейшие производственные проекты. Их неутомимая любознательность, жажда действий и готовность к сверхинтенсивной работе позволили достичь результатов.

Спасибо Максиму Фельдману за соавторство и командам департамента Degree программ, отдела продуктового маркетинга и отдела по работе с клиентами Московской школы управления СКОЛКОВО.

Спасибо Марине Карбан и команде департамента корпоративного обучения. Спасибо международным партнерам, коллективу профессоров, команде академической платформы, которые создают интеллектуальный капитал, что важно в условиях быстро меняющегося мира.

Спасибо участникам клуба производителей школы, выпускникам программ MBA, EMBA, Практикум и Стартап Академии, которые внимательно читали и исправляли доклад, помогли сделать его практичным и соответствующим реальным условиям.

Спасибо российским предпринимателям, инжиниринговым и производственным компаниям, работа которых - настоящий драйвер российской экономики.

Спасибо энергичной и опытной команде Агентства по технологическому развитию.

Россия - страна созидателей, инженеров и строителей, открытых к новому и готовых к партнерству для достижения результатов в новых смелых проектах. Вместе мы каждый день создаем наше будущее.

Структура доклада



«Рост происходит всякий раз, когда для задачи находят успешное решение, оно же, в свою очередь, ставит следующую задачу. У нас нет никаких оснований предполагать, что этот процесс не может повторяться бесконечное число раз - даже несмотря на то, что в контексте истории большинство цивилизаций прекратили своё существование».

Арнольд Дж. Тойнби
«Исследование истории»



Рисунок 1. Система развития цифровых производственных предприятий

Авторами исследования предлагается алгоритм развития предприятий и отраслей в условиях нового технологического уклада, приведенный на рисунке 1.

1. Осознать, что экспоненциальное развитие технологий и эффективность их использования сегодня очень сильно влияют на конкурентоспособность компаний, скорость вывода ими продуктов на рынок, качество и себестоимость продуктов.

2. Выбрать направления развития бизнес-процессов. Предлагается использовать 15 ключевых направлений, объединяющих до ста систем и технологий. Эти направления описаны в главе 1 настоящего исследования.

3. Провести диагностику зрелости предприятия по описанным в главе 1 направлениям. Рекомендуемые действия компании описаны в главе 3 настоящего исследования, диагностику целесообразно проводить с помощью прилагаемого опросного листа.

4. Открыть НИОКР или проекты внедрения в корпоративной лаборатории или инновационном исследовательском центре компании по выбранным направлениям. Рекомендуемые действия компании описаны в главе 4 настоящего доклада.

5. Мобилизовать творческую энергию руководителей и специалистов компании через их развитие в специально созданных для этого

пространствах прототипирования продуктов и моделирования бизнес-процессов. Рекомендуемые действия компании описаны в главе 5 настоящего доклада.

6. Обеспечить развитие компании по направлениям к автономным производственным системам. Рекомендуемые действия компании описаны в главе 6 настоящего доклада.

7. Вернуться на шаг 1 для повтора алгоритма для решения новых задач.

Производительность труда, эффективность и конкурентоспособность современного предприятия сегодня, как никогда ранее, определяются возможностями быстрого и гибкого использования ключевых цифровых управленческих систем и технологий. Настало время быстрого развития бизнеса через использование всех преимуществ трансформации в киберфизические компании. Мы постарались максимально простым и понятным языком рассказать об оптимальных путях интеграции цифровых технологий в бизнес-процессы уже работающего предприятия, о наиболее эффективных стратегиях цифровой трансформации компании.

Ускорение диффузии технологий



В марте 2017 г. эксперты Банка Англии призвали более серьезно относиться к темпам технологического прогресса и перестать недооценивать его риски и возможности [1].

«В глобальном технологическом сообществе растут тревоги, вызванные слабой готовностью развитых экономик к следующей промышленной революции. Ее наступление может значить замещение миллионов преимущественно менее квалифицированных специальностей, крах многих, существующих долгое время, но медленно адаптирующихся компаний, существенное увеличение разницы в доходах общества и растущую промышленную концентрацию, связанную с резким ростом относительно небольшого количества мультинациональных технологических корпораций.

Экономисты, анализируя ход предыдущих индустриальных революций, отмечают, что не все из этих рисков случаются. Однако, такой подход, возможно, недооценивает

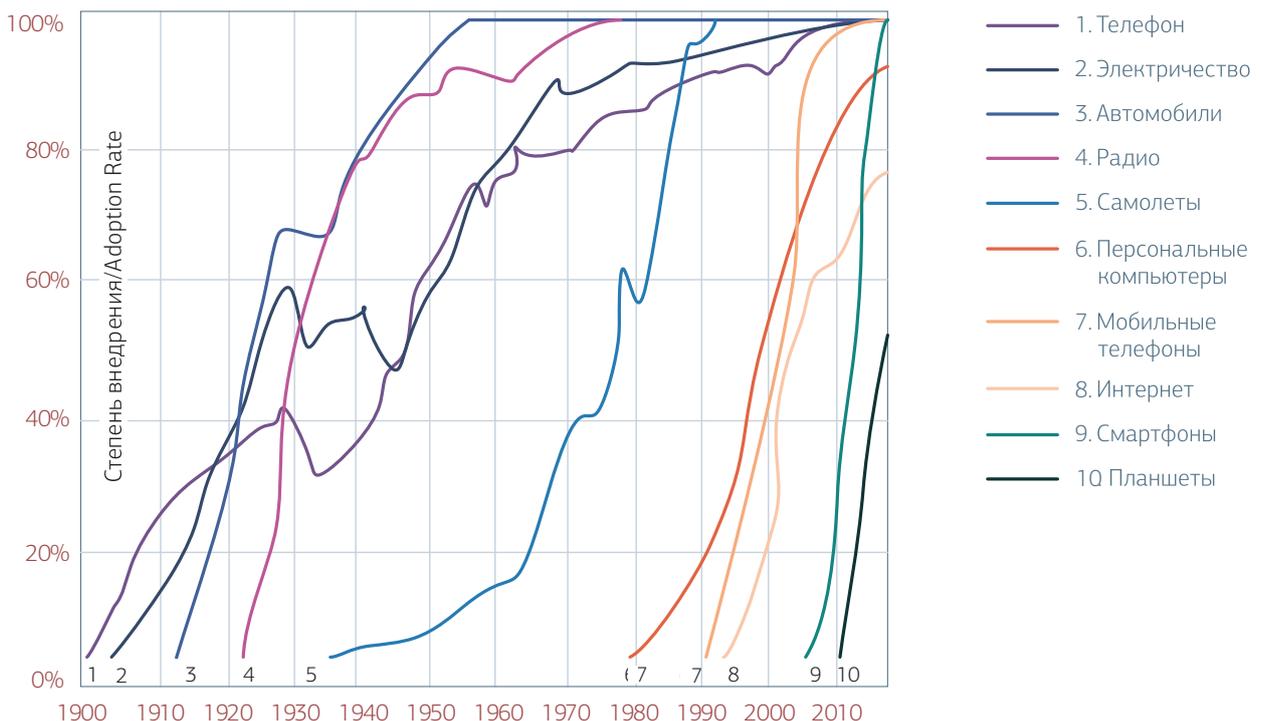
существенно отличную природу технологических достижений, происходящих в настоящее время, в смысле их значительно больших индустриальных и профессиональных значений и скорости их диффузии.

По этой причине было бы ошибкой отвергать риски, связанные с этими новыми технологиями, признавая их незначительными».

Скорость диффузии технологий в приведенной цитате — это время, за которое технологии начинают активно использоваться большинством потребителей. Другими словами, ими начинает пользоваться большинство пользователей четвертого уровня, late majority пользователи в модели диффузии потребительских инноваций Роджерса [2]. На рисунке 2 приведено фактическое изменение этой скорости за последние 110 лет для потребительских технологий.

Ключевая технология, которая увеличивает углы наклона кривых, делая их почти вертикальными линиями — интернет.

Рисунок 2. Диффузия потребительских технологий за 110 лет



Потребители все быстрее через онлайн ярмарки тщеславия узнают об уникальных потребительских характеристиках продуктов и стремятся приобрести очередной технологический тотем. С другой стороны, на скорость интеграции технологий в наши жизни влияет рост скорости падения их стоимости (рисунок 3).

На что, в свою очередь, очень сильно влияет рост степени автоматизации производств и ускорение диффузии производственных технологий (рисунок 4).

Ключевые вопросы: как это технологическое ускорение повлияет на наши жизни, на уровне микро и макроэкономики? Что будет дальше?

Отвечая на эти вопросы, эксперты Банка Англии в цитате выше предупреждают: ни при распространении конвейеров и электрификации, начавшихся в 1870, ни при распространении автоматизации сто лет спустя не было этих сверхскоростных линий в форме буквы J, когда технология рождается — и за несколько лет становится ключевым конкурентным преимуществом компании, отрасли, экономики государства. За эти же несколько лет другая компания, не успевшая адаптировать и интегрировать в ежедневную деятельность технологию, погибает.

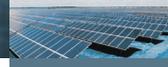
«Еще в 2011 году представители Foxconn заявили, что в ближайшие 3–5 лет компания заменит 500000 рабочих в Китае на 1 миллион роботов. Процесс масштабной автоматизации начался в марте

2016 года, когда на одной из фабрик было уволено 60000 человек, а несколько фабрик в КНР было оборудовано 40000 «фоксботов». Тогда же стало известно о планах Foxconn увеличивать количество робототехники на 20–30% ежегодно. Такие темпы отвечают нормам развития робототехники в Китае, который входит в тройку лидеров по внедрению промышленных роботов [3].»

Дополненная реальность (augmented reality, AR) — одна из таких «J» промышленных технологий с ускоренной диффузией.

В 2015 году авторы настоящего доклада, создавая высокотехнологичное машиностроительное предприятие, переняли у зарубежных коллег опыт автоматизации сборочных мест рабочими станциями, большими дисплеями и трехмерными моделями производимого оборудования из PDM систем (рисунок 5) для оптимизации сборочных операций в цеху. Эти участки мы оснастили дисплеями, на которые выводился трехмерный состав изделий и полный комплект документации, необходимой для быстрой и качественной сборки продуктов. Поколение молодых слесарей-сборщиков уже было готово эффективно работать с электронной документацией. Мы понимали, что функционально это решение очень близко к очкам дополненной реальности и AR программному обеспечению, но время для AR на производстве в 2015 году еще не пришло. Тем не менее, к интеграции AR в производственный процесс мы готовы

Рисунок 3. Резкое падение стоимости ключевых технологий

						
БПЛА, Себестоимость единицы:	Средняя себестоимость 3D печати аналогичных характеристик:	Промышленные роботы:	Себестоимость секвенирования ДНК:	Стоимость кВт-ч солнечной энергии:	Сенсоры (3D лидар)	Себестоимость смартфона аналогичных характеристик:
2007: \$ 100k 2013: \$ 700	2007: \$ 40k 2013: \$ 100	2007: \$ 100k 2013: \$ 700	2007: \$ 40k 2013: \$100	1984: \$ 30 2014: \$ 0.16	2009: \$ 30k 2014: \$80	1984: \$ 499 2014: \$ 10

World Economic Forum White Paper Digital Transformation of industries: Digital Enterprise, January 2016 Перевод: Fabinka.ru

обеспечили, реализовав один из ключевых компонентов современной технологической платформы.

Через два года, в 2017 — такая интеграция становится конкурентным преимуществом производителей.

Один из пионеров использования AR в производственном процессе — компания, расположенная в Атланте, США. AGCO — глобальный производитель крупных тракторов, пульверизаторов удобрений и другой сельскохозяйственной техники.

Рабочие, занятые на участках сборки, сканируют при помощи очков дополненной реальности серийные номера на частях двигателя, с которыми работают (рисунок 6). Перед их глазами возникают руководства по эксплуатации, фотографии или видео, которые могут понадобиться при сборке. При нажатии на дужку очков или произнесении «OK Glass», рабочие оставляют голосовыми

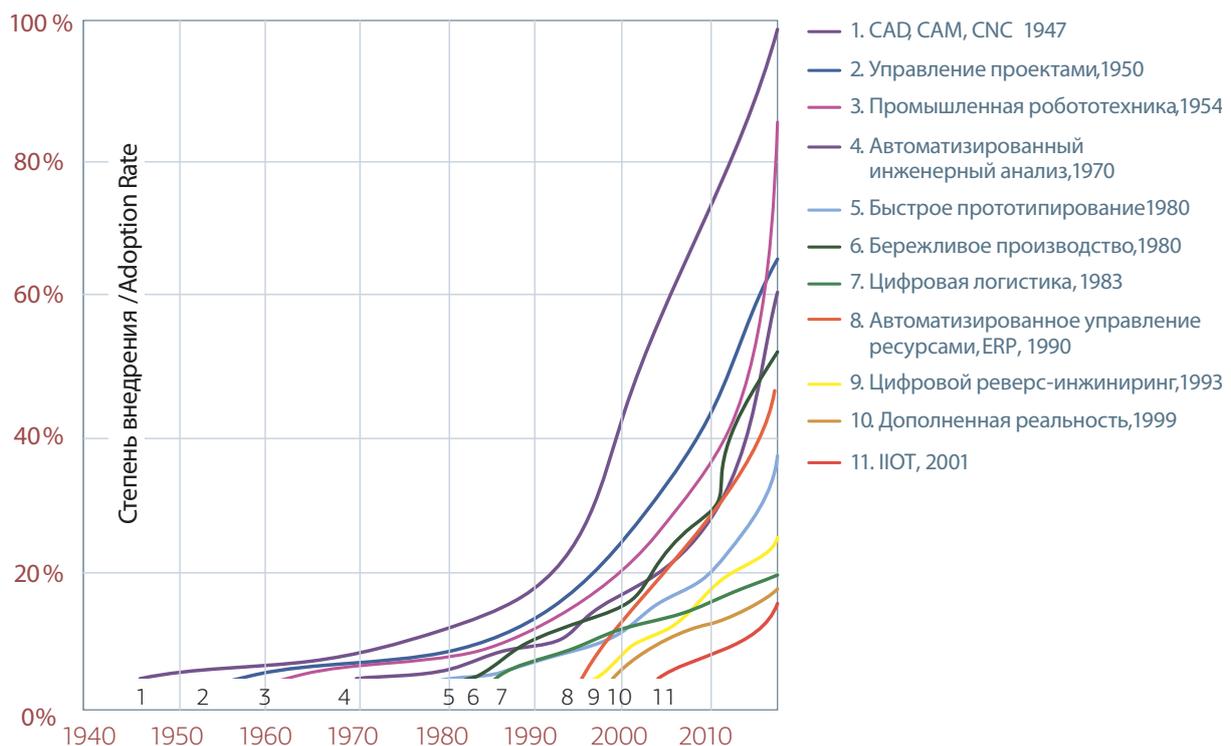
заметками рекомендации и инструкции сборщикам следующей смены.

Руководство завода отмечает ускорение контроля качества на 20%. Очки также решают задачи обучения новых специалистов. На заводе AGCO около ста специалистов используют AR очки, стоимость каждого около 2000\$.

На заводах AGCO использование технологии дополненной реальности не только приемлемо, но и востребовано. Компания планирует удвоить использование технологии к концу этого года. Сегодня дополненная реальность — в активной опытной эксплуатации в производственных процессах многих компаний, включая General Electric и Boeing [4].

Контрактный производитель Flex использует технологии дополненной реальности для удаленного сервиса произведенных продуктов. Такой подход позволяет

Рисунок 4. Диффузия производственных технологий за 70 лет



организовать консультацию инженером из Китая инженера из США и получить обратную связь в режиме реального времени через гарнитуру дополненной реальности. Эта немедленная техническая поддержка позволяет уйти от значительных логистических затрат при поездках сервисных инженеров. В 2016 году исследование журнала CIO показало, что использование «Боингом» гарнитур дополненной реальности в пилотных проектах уменьшило время на сборку сложной кабельной продукции на 25% при уменьшении ошибок вдвое [5].

Характерные детали J технологии видны на практике для дополненной реальности:

1. Рост производительности от использования технологии;
2. Рост качества продуктов благодаря интегрированной в производство технологии — сложнее ошибиться при сборке.
3. Экспоненциальное развитие бегущей по J-траектории технологии — двукратный рост использования за год.

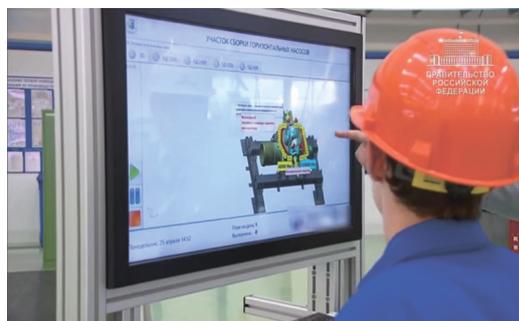
Следите внимательно: AR — через несколько лет станет эффективно использоваться в большем количестве цехов заводов-лидеров, если роботы еще оставят к тому времени место для людей.

Все дело в угле наклона кривой диффузии, говорит нам анализ происходящего — и во внимании к ключевым технологиям, которые в максимально короткие сроки меняют производительность труда, качество

Рисунок 6. Использование дополненной реальности на сборочных участках современного машиностроительного производства



Рисунок 5. Результат автоматизации рабочих мест на сборочных участках современного машиностроительного предприятия



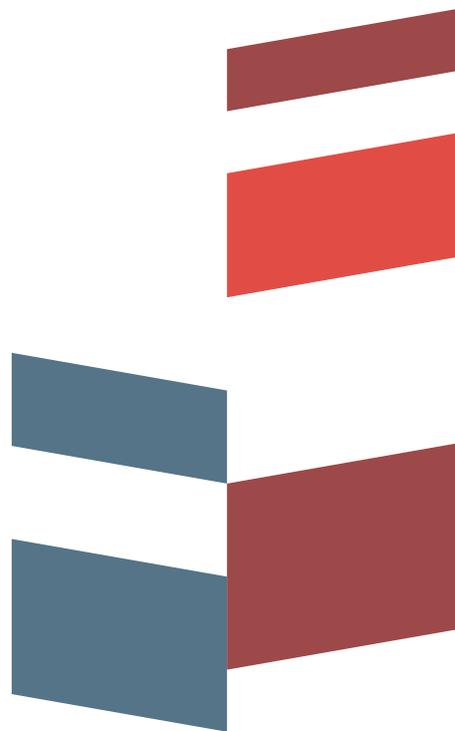
продуктов компаний и скорость их вывода на рынок. Все дело в скорости диффузии (рисунки 2 -5) и в готовности компании быстро интегрировать ключевые технологии.

На уровне сотрудников — все дело в скорости их обучения. Фактически, среди других смыслов на приведенных графиках — кривые обучаемости (learning curves) компаний и команд компаний.

На уровне руководителей — следуя совету руководителя одного из подразделений General Electric Сэма Мюрли: учитесь, фокусируйтесь на первой опытной эксплуатации новой технологии, определите, какие из технологий пока далеки до использования в реальном мире, какие уже готовы, найдите ранних последователей, готовых быть партнерами внутри вашей компании, измеряйте эффективность технологии комплексными метриками и детальной аналитикой, общайтесь с отраслевыми экспертами для управления проектом внедрения и не бойтесь неудач.

Кто быстрее научился с минимальными затратами использовать новую технологию — тот и выжил. Добро пожаловать в жизнь в форме буквы J. Кто не готов — готовьтесь к исчезновению, C'est La Vie.

Методам, технологиям и системам такого выживания и развития компании в условиях нового технологического уклада посвящена настоящая работа.



Глава 1

Ключевые системы и компоненты цифрового производственного предприятия



Резюме главы:

Предложено систематизировать ключевые компоненты развития современных цифровых производственных технологий по пятнадцати направлениям в трех организационных измерениях – проектирование, производство, управление предприятием.

Развитие каждого из направлений сегодня делает компании конкурентоспособными, позволяет повышать производительность труда, снижать время вывода продуктов на рынки, себестоимость производимой продукции, повышать скорость управленческих решений и качества продуктов и сервисов.

Как российским производствам подготовиться к новому технологическому укладу? Что именно позволяет иностранным компаниям производить промышленное оборудование качественнее, быстрее, дешевле?

В течение последних 10 лет авторы настоящего исследования, реализуя крупные промышленные проекты, отвечали на эти вопросы, работая в семи странах мира (Великобритания, США, Германия, Швейцария, Нидерланды, Япония, Италия, Украина, Россия) на десятках международных машиностроительных предприятиях: Siemens, VOITH, Termomeccanica Pumps, EBARA, ABB, Eagle Burgmann, John Crane, Nidec A.S.I. Благодаря этим проектам, авторы исследования провели детальный анализ подходов и технологий для обеспечения высокой степени конкурентоспособности современного международного производственного предприятия.

За 10 лет работы мы сформировали систему методов работы с иностранными партнерами в условиях существенных различий стандартов изготовления продукции, включая:

1. Использование подходов к созданию и развитию команд управления проектами для их эффективной совместной работы в различных географических локациях и странах;
2. Создание и внедрение методики согласования технических характеристик оборудо-

ования, поставляемого для для российских предприятий;

3. Управление сроками производственного жизненного цикла машиностроительного предприятия;
4. Контроль качества поставляемой продукции на заводах - производителях;
5. Обеспечение интеграции оборудования, поставляемого иностранными партнерами, с оборудованием отечественных производителей;
6. Формирование логистических маршрутов в условиях жестких климатических условий и удаленности мест доставки;
7. Обеспечение шеф-монтажных и пусконаладочных работ в жестких условиях;
8. Обеспечение сервисной поддержки и исполнения увеличенных сроков гарантийных обязательств.

В результате исследования мы выделили 15 управленческих систем, которые необходимо реализовать российским предприятиям как можно быстрее, если они хотят догнать и перегнать иностранные предприятия в гонке конкурентоспособности четвертой промышленной революции.

1. Единое информационное пространство предприятия, системы управления информацией, Enterprise Information Management:

EIM = PLM+MES+ERP. Именно в такой связке, с взаимной передачей данных эти системы работают в международных компаниях с 90-х годов прошлого века, образуя централизованный цифровой информационный хаб, используемый на всех стадиях жизненного цикла производственного проекта: для цифрового конструирования, в цифровом цеху, в цифровой цепи поставок, логистике и цифровой адаптации под потребителя продукта при продажах и сервисном обслуживании. В последнее время как один из важных компонентов EIM, активно развиваются системы класса MDC — Manufacturing Data Collection (включая продукты российских производителей), обеспечивающие мониторинг средств производства с числовым программным управлением и сбор

данных о загрузенности средств и ресурсов производства. Накапливать, упорядочивать и управлять информацией на всех этапах жизненного цикла изделий сегодня еще важно и для постепенного перехода через машинное обучение (machine learning) к полностью автоматическому производству. Проектирование и использование алгоритмов и программного обеспечения, которые собирают, преобразовывают, интерпретируют информацию и прогнозируют на этой основе развитие бизнес-процессов — ключ к эффективности предприятий в цифровой производственный век.

2. Цифровое моделирование и оптимизация процессов и продуктов компании, включая инженерный анализ (CAE) как отдельное бизнес-направление, виртуальное прототипиро-

Рисунок 7. 15 ключевых компонентов и систем современного производственного предприятия



вание, численный виртуальный эксперимент, анализ методом конечных элементов (FEA) и численное моделирование в гидродинамике (CFD). Цифровое моделирование работы выпускаемого вами оборудования также очень сильно влияет на сроки разработки и выпуска продукта. Различные способы моделирования — от физических процессов и отдельных сборочных единиц до технологических процессов и производства в целом широко используются во всех ведущих производственных предприятиях сегодня, обеспечивая их отраслевое лидерство [7]. Цитата вице-президента Тесла по производству подчеркивает важность этого направления: «современное производство — это интеллектуальная машина, производящая другие машины. Вы должны собрать все данные завода. Вам необходимо понять процессы и как вы можете их улучшить. Когда у вас станет достаточно информации, станет несложно смоделировать все предприятие от начала до конца и понять ключевые точки воздействия и настройки завода» [8].

3. Конвергенция цифрового и физического в разрабатываемом продукте уже в эскизном проекте. Уже сегодня ведущие производители на этапе конструирования механического оборудования продумывают и закладывают в конструкцию выпускаемого продукта способы его взаимодействия через защищенный промышленный интернет вещей с цифровыми системами управления. Здесь же — цифровые двойники (полная информационная модель) выпускаемого продукта, продвижение и продажи через виртуальную реальность (VR) и сервиса с помощью дополненной реальности (AR). Чтобы показать, как работает оборудование производства Caterpillar, презентовать и продать его шейхам, CAT больше не везет грейдер в ОАЭ. Компания передает 3D модель грейдера в свое представительство, где в очках виртуальной реальности проводят презентацию потенциальному покупателю. Компания сильно экономит при этом на логистике крупного оборудования. С помощью дополненной реальности сервис-инженеры CAT, обслуживающие грейдер на базе математической модели с предиктивной аналитикой, могут осуществлять

«точный» ремонт в полном соответствии со всеми инструкциями и актуальным состоянием именно запрошенного обслуживания грейдера. Оцените перспективы сервиса как бизнеса для машиностроительной компании.

4. Корпоративная инновационная система и акселератор. Для прототипирования продуктов и моделирования бизнес-процессов современных предприятий создаются и активно работают специальные пространства — акселераторы, корпоративные инновационные центры и лаборатории. Они — основа и ключевые драйверы роста новой цифровой экономики. Цель создания таких бизнес-мобилизаторов состоит в том, чтобы обеспечить постоянное развитие и гибкость компаний, их готовность непрерывной адаптации к меняющимся условиям внешней среды и ускоренной диффузии технологий за счет решений нового технологического уклада, организационного обучения и создания системы принятия решений с использованием данных от жизненного цикла производства, цепочки поставок, средств и систем производства, всех бизнес-процессов. Подробнее о компонентах и условиях развития корпоративной инновационной системы — в главах 5 и 6 настоящего доклада.

5. Систематизация, накопление и защита нематериальных активов (НМА) и интеллектуальной собственности. Не обязательно в форме патентов, обязательно в форме секретов производства и ноу-хау. Не забывайте интегрировать НМА в хозяйственную деятельность компании, фиксируя их оценку в бухгалтерском балансе. Здесь все просто: одним из основных выгодоприобретателей четвертой промышленной революции является собственник и поставщик интеллектуального капитала. Если вы развиваетесь как производитель и не оформляете свою интеллектуальную собственность, вы лишаете себя этих выгод. Сегодня лидирующие компании и государства борются за построение конкурентной экономики знаний (knowledge economics) с основой в виде производства интеллектуальных продуктов — технологий, патентов, ноу-хау. Обеспечивая интеграцию в хозяйственную деятельность нематериальных активов, российские компании могут быть

глобальными промышленными гигантами, даже не имея собственных заводов.

6. Цифровой реверс-инжиниринг [9, 10]. В качестве одной из наиболее успешных бизнес-стратегий международной экспансии машиностроительной компании сегодня на практике подтверждено развитие собственного сервисного центра за рубежом. Сервисная база или ремонтное предприятие создается рядом с потребителем, обученный персонал такой базы помогает ремонтировать изношенное оборудование потребителя через сканирование деталей и передает полученные в результате сканирования 3D модели к себе на домашнее предприятие для дальнейшего анализа и производства. В результате базы данных PDM систем и банки данных интеллектуальной собственности международных глобальных производителей наполняются существующими составами изделий и конфигурациями работающего оборудования для последующего расширения производственных линий этих глобальных компаний.

7. Аддитивное производство для модельных испытаний и быстрого прототипирования [11]. В компании еще нет промышленного 3D принтера или партнеров-студии 3D печати? В этом случае она не сможет быть такой же быстрой в разработке и выпуске новых продуктов, как производители освоившие методы аддитивного производства и быстрого прототипирования.

8. Энергоэффективность производственных предприятий, сертификация их по стандартам LEED, BREEAM и сокращение эксплуатационных затрат на 25% и более. Обеспечение энергоэффективности предприятия непосредственно влияет на себестоимость продукции этих предприятий и снижает риски энергозависимости предприятий, риски изменения законодательства и др.

9. Выход подсистем системы управления информацией предприятий (PDM, MES, MDC) на автоматизированные рабочие места (АРМ) производственных участков. Выросло поколение специалистов, для которых использование цифровых интерфейсов и средств производства в работе эффективнее, чем ис-

пользование аналоговых. Молодые слесари-сборщики эффективно работают с цифровыми интерфейсами составов изделий на АРМ сборочных участков, пользуясь интерактивными электронными техническими руководствами. Операторы станков ЧПУ эффективно используют цифровые ассистенты выполняемых технологических процессов, включающих базы знаний нормативно-справочной информации. Управление производственными процессами, анализ их узких мест и ограничений, принятие управленческих решений на основе этого анализа руководитель цеха ведет из главной диспетчерской, пульта управления производством, оборудованной дисплеем, на который поступают видеoinформация со всех производственных участков и информация об их плановой и фактической производительности (как это реализовано в цеху «Высота 239» Челябинского трубопрокатного завода, ЧТПЗ).

10. Производственная система с работающими технологиями бережливого производства, культура производства и порядок в цехах. К сожалению сегодня огромное количество цехов и производств в России — не отвечающие экологическим стандартам, неухоженные помещения с хаотично накиданным инструментом на верстаках под слоем стружки. В таких условиях невозможно произвести конкурентоспособный продукт. Оптимизация планировки цеха, стандартизация производственного процесса, повышение эффективности работы оборудования — важные слагаемые роста производительности труда современного предприятия.

11. Цифровое управление логистикой, в том числе с использованием радиочастотной (RFID) идентификации, с контролем передвижения сырья и материалов, очень важно для обеспечения конкурентоспособности производства сегодня. Максимальная автоматизация управления складскими запасами, цифровые системы отбора материальных запасов со световой индикацией («умные» полки, pick-by-light), когда информация по заданию на подбор материалов высвечивается на интегрированном в полку дисплее, при подключении к MES, на поря-

док увеличивают производительность при пропорциональном уменьшении затрат на логистику [12]. Здесь же — автономная логистическая робототехника и роботизированные системы обслуживания складов.

12. Трансфер технологий. Если компания оснастила нефтяное месторождение комплексом иностранного промышленного оборудования, ей сразу же стоит начинать думать о локализации производства этого оборудования. Еще лучше — запланировав приобретение значительного объема иностранного оборудования для оснащения нефтяного месторождения, сразу планировать и реализовывать трансфер технологий производства этого оборудования в России. Иначе в ходе эксплуатации этого оборудования компания быстро разорится на его сервисе (от 100 евро в час — стоимость европейского инженера), а через пять лет обнаружит себя собственником морально и физически устаревших металлоконструкций. Причем соседи по отрасли, закупив через пять лет у той же иностранной компании похожее оборудование, станут собственниками машин на пять поколений старше и эффективнее, поскольку обновление продуктовой линейки раз в год — реальная практика современных международных производственных компаний. С ускоренным развитием технологий цифрового производства и сокращением сроков выпуска продукции трансфер технологий сегодня стал единственной возможностью выживания даже не производителя, а заказчика и эксплуатанта оборудования. При этом предприятия, сформировавшие объемы интеллектуальных активов в PDM системах, могут начинать задумываться об их капитализации, включая трансфер (экспорт) технологий в развивающиеся страны и продажу лицензий на нематериальные активы (ноу-хау и интеллектуальную собственность).

13. Кросс-отраслевая кооперация, взаимодействие с партнерами в профессиональных ассоциациях и консорциумах, взаимодействие с другими компаниями для организации технологического партнерства. Активизация обмена ресурсами, возможностями

и потребностями, в том числе через уже существующие онлайн-инструменты. Использование эффекта платформы, когда цифровые производители создают сети, соединяющие продавцов и покупателей, повышая доходы за счет эффекта масштаба [13]. Пример — кооперация компаний Hewlett-Packard, National Instruments, PTC и Flowserve [14], которые объединились для совместного выпуска насосных агрегатов, управляемых и обслуживаемых с помощью технологий промышленного интернета вещей и предиктивной аналитики. Российский пример — кооперация Yandex Data Factory и Магнитогорского металлургического комбината, создавших с помощью алгоритмов машинного обучения математическую модель производства стали для оптимизации расхода ферросплавов и добавочных материалов [15].

14. Партнерство с образовательными платформами, учебные производственные центры на предприятии, развитие фаблабов в регионе работы предприятия. Популяризация цифрового производства через проведение мастерских с рассказом о работе современных инженеров, 3D печати, робототехники. Участие молодых цеховых специалистов в WorldSkills, EuroSkills. Европейское предприятие, открывшее завод в России, имеет несколько таких центров, оборудованных образцами продукции для проведения тренингов персонала и партнеров компании. Также важно развитие команд руководителей предприятий в школах управления — через обмен лучшими практиками и извлеченными уроками с коллегами по отрасли и руководителями компаний из других отраслей.

15. Профессиональное управление проектами. Для обеспечения поставки сложных видов оборудования в срок, с запланированным финансовым результатом и с требуемым заказчиком качеством, ведущие производственные предприятия создают и развивают корпоративные системы управления проектами, обращаясь к лучшим практикам современного управления проектами и комбинируя Agile и Waterfall подходы к реализации проектов.

Почему сегодня так важно опираться на эти работающие производственные технологии в гонке конкурентоспособности нового технологического уклада?

Давайте посмотрим на произошедшее в последние годы. В продукте и в средствах производства доказала свою эффективность радикальная конвергенция цифрового и физического. В разработке — если предприятие не выпускает новую модель продукта ежегодно в условиях быстрого и тесного цифрового мира, оно проигрывает конкурентам. В производстве — увеличились эффективные возможности для автономного производства, поэтому цеховой персонал постепенно замещается операторами цифровых технологических процессов, как десять лет назад токари и фрезеровщики начали замещаться операторами станков с ЧПУ. В сервисе продукта — распространяются технологии предиктивной аналитики как серьёзной конкурентной силы и связи продукта с его разработчиком (пример — «Тесла»). Да, эти технологии рождены десятки лет назад. Но любая революция — это окончательное разрушение старой технологической платформы критической массой новых технологий, эволюционно развивающихся долгие годы. Наивно было бы предполагать, что промышленная революция происходит, когда абсолютно новая технологическая платформа в миг меняет цифру 3 на 4. Один из лучших примеров революционного продукта, полученного эволюционным путем — автомобили «Тесла», и если спроецировать технологическую новизну этого продукта (и средств его производства) на другие отрасли и продукты, становится ясно, что смена технологического уклада действительно происходит.

ЧЕК-ЛИСТ ДЕЙСТВИЙ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «СИСТЕМ И КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ»

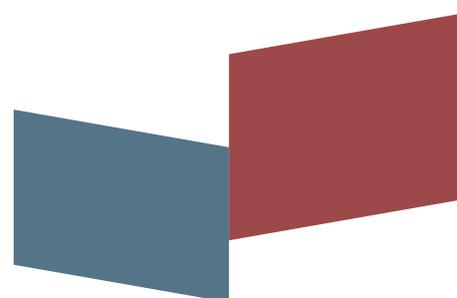
Честно осознать потребность и необходимость изменений лидеров, управленческих команд, бизнес-процессов и самих компаний

Определить наиболее важные направления цифрового развития для развития компании

Оценить влияние технологии на эффективность компании, скорость вывода продуктов на рынок, качество продуктов, себестоимость продуктов, скорость и точность принятия управленческих решений

Организовать диагностику, в том числе через референс-визиты на предприятия: с вендорами, агентствами развития, экспертами или самостоятельно

Оценить экономический эффект как разницу между инвестициями в цифровое перевооружение и прогнозируемым финансовым результатом



Глава 2

Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения



Резюме главы:

Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования позволяет в кратчайшие сроки разрабатывать и создавать глобально конкурентоспособную продукцию нового поколения.

В основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования лежит использование сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям и физико-механическим / производственным процессам, применение best-in-class технологий, разработка цифровых двойников как продукции, так и её производства.

Перечисленные в предыдущей главе 15 ключевых компонентов цифрового производства позволяют компаниям быть конкурентоспособными, позволяют повышать производительность труда, снижать время вывода продуктов на рынки, себестоимость производимой продукции, повышать скорость управленческих решений и качества продуктов и сервисов. Вместе с тем можно утверждать, что применение этих компонентов является лишь необходимым, но никак не достаточным условием присутствия на глобальном рынке. Их наличие, вообще говоря, не обеспечивает инновационный прорыв и создание глобально конкурентоспособной продукции **нового поколения**.

Инновационный прорыв может обеспечить оптимальное и эффективное комплексирование различных лучших в мире (best-in-class) технологий с добавлением оригинальных кросс-отраслевых интеллектуальных ноу-хау — в итоге формируется комплексное высокотехнологичное решение, которое априори является лучшим в мире и которое, это принципиально важно, обеспечивает в кратчайшие сроки проектирование и производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения.

Такие комплексные решения — Цифровые, «Умные», Виртуальные «Фабрики Будущего» (Digital, Smart, Virtual Factories of the Future) — имеют принципиальную схему в виде триады «цифровое проектирование и моделирование & новые материалы & аддитивные техноло-

гии», в которой драйвером выступает новая парадигма цифрового проектирования и моделирования — Smart Digital Twin – [(Simulation & Optimization)-Based Smart Big Data]-Driven Advanced (Design and Manufacturing).

Более 40 лет назад создание и применение в разработке технических систем и конструкций CAD-систем (систем автоматизированного проектирования) было признано Национальным научным фондом США (NSF) величайшим событием, позволившим резко повысить производительность труда и сравнимым в этом смысле, пожалуй, лишь с началом «эпохи электричества» [16, p. vii].

Сегодня в современном производстве произошли еще более значимые изменения — смещение «центра тяжести» на этап проектирования. Традиционные подходы и технологии, предполагающие и основанные, как правило, на доводке изделий путём дорогостоящих испытаний, достигли своего «потолка» в развитии и применении и, фактически, становятся принципиально неконкурентоспособными.

Ранее процесс разработки выглядел следующим образом: на основе реального объекта строилась его физическая модель, как правило, чрезвычайно упрощенная, которая затем, в процессе формирования математической модели, описывалась уравнениями математической физики (то есть строилась математическая модель, включающая математическое описание моделируемой конструкции в соответствии с теоретическими

положениями кинематики, динамики и прочности, поведения материалов под действием нагрузок и температур и т. д.). Далее, в результате многочисленных и дорогостоящих натурных испытаний изготовленных прототипов осуществлялась проверка и корректировка математической расчётной модели, а по итогам – и доводка конечного изделия.

При этом важно отметить, что адекватность изначально выбранной физической модели, понимаемая как «правильное качественное описание объекта по выбранным характеристикам» и «правильное количественное описание объекта по выбранным характеристикам с некоторой разумной степенью точности» [17, с. 110–111], оставалась, как правило и по-прежнему, достаточно низкой. В качестве аргумента приводилось утверждение, что при выборе более адекватной и более сложной физической модели математическая модель могла оказаться настолько сложной, что для дальнейшей работы с ней потребовалось бы ее значительное упрощение и, как следствие, снижение адекватности [17, с. 119].

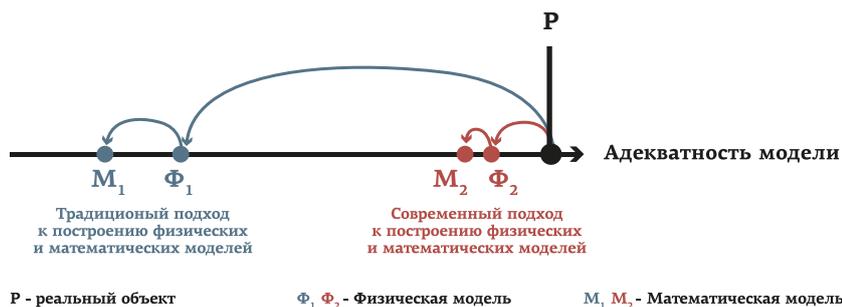
В настоящее же время за счет применения метода конечных элементов (Finite Element Method, FEM, компьютерных технологий мирового уровня (CAD-CAE-CFD-FSI-MBD-EMA-CAO-NPC-...)) стало возможным радикально повысить адекватность физических моделей, а за счет компьютерных технологий мирового уровня и новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования — повысить адекватность и математических моделей, и получаемых чис-

ленных результатов. Это позволяет отказаться от интуитивных методов работы инженеров, когда всякая новая конструкция создается, как правило, на основе уже существующих прототипов, а потому мало создается конструкций / машин / приборов / ... нового поколения, глобально конкурентоспособных, востребованных и кастомизированных / персонализированных или даже – кастомных.

За счет применения новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования стало возможным уйти от традиционной ситуации, когда число изменений изделия (в силу допущенных ошибок или полученных новых, ранее не учтенных сведений) и, соответственно, возрастающие затраты на их внесение распределяются на протяжении всего жизненного цикла разработки – от стадии проектирования до начала серийного производства (известно, что чем позже вносятся изменения, тем большие издержки несет компания). В итоге становится принципиально возможным сосредоточить основную долю изменений и затрат на стадии проектирования, тем самым минимизировать общий объем издержек и обеспечить создание наукоемких высокотехнологичных изделий нового поколения в кратчайшие сроки.

Смещение «центра тяжести» в сторону проектирования еще в 2015 году было отмечено американской аналитической компанией CIMdata, которая специализируется на оказании услуг стратегического консалтинга поставщикам PLM-решений. Очевидно, что

Рисунок 8. Сравнительный анализ традиционного и современного подходов к построению физических и математических моделей



Источник: Инжиниринговый центр СПбПУ по материалам [17]

в рамках разворачивающейся IV промышленной революции лидерами будут становиться именно те компании, которые, находясь в тренде цифровой экономики, переносят акценты своей деятельности в область цифрового проектирования и моделирования компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга вместе с методами многокритериальной, многопараметрической и топологической оптимизации, бионического дизайна, аддитивного производства, роботизации и т.д. [см. подробнее 19; 20]

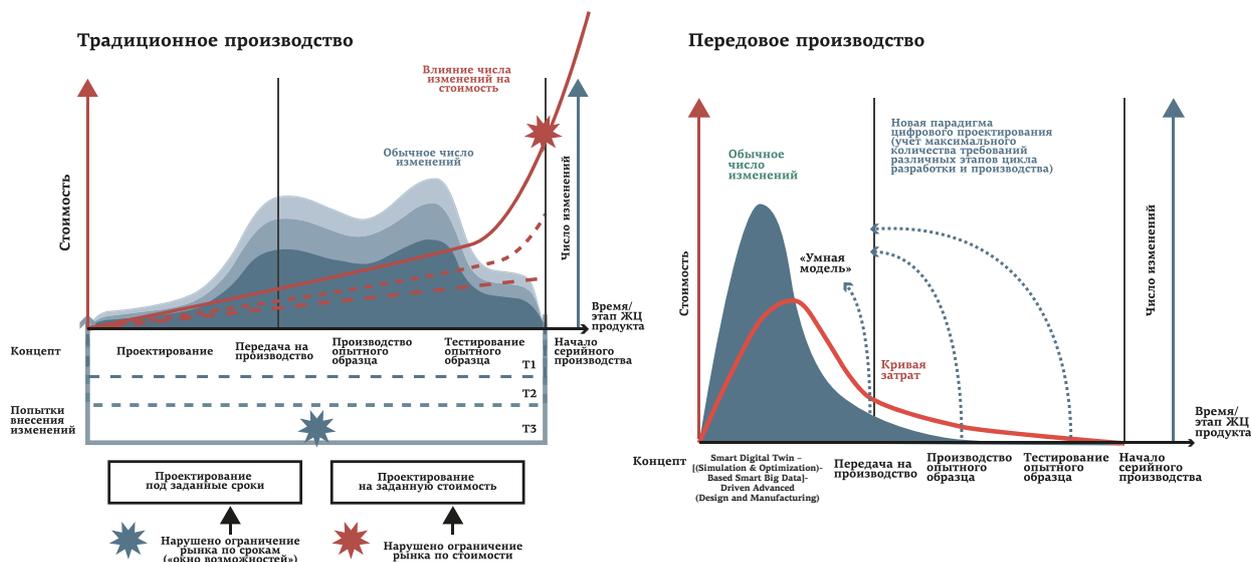
Неслучайным является тот факт, что в США развитие передовых производственных технологий (ППТ) идет путем «аддитивного комплексирования» различных государственных программ. Так, хотя формально основной является инициатива Advanced Manufacturing Partnership, запущенная в 2011 году, она выступает лишь составной частью целого комплекса усилий по обеспечению конкурентоспособности промышленности США, которые, «наслаиваясь» друг на друга, дают синергетический эффект, недостижимый, если бы каждая мера — по развитию ППТ, высокопроизводительных вычислительных систем и компьютерного проектирования материалов

на молекулярном и атомарном уровне — существовала абсолютно независимо друг от друга, или если бы был нарушен выбранный порядок их запуска на государственном уровне.

Так, условное начало можно отнести к 2004 году, когда по инициативе Министерства энергетики США был принят High-End Computing Revitalization Act, направленный на поддержку разработки НРС-систем (включая программное и аппаратное обеспечение) для промышленных и научных нужд путем создания специализированных центров, исследовательских команд, обеспечения трансфера технологий из науки в промышленность и обеспечения доступа научного сообщества к передовым промышленным НРС-системам (High-performance computing системы – системы высокопроизводительных вычислений) [21].

Далее, в 2009 году Совет по конкурентоспособности США, объединяющий руководителей компаний, президентов университетов, лидеров профсоюзов, директоров национальных лабораторий и играющий значительную роль в формировании экономической политики страны, опубликовал влиятельный доклад, в котором указывалось, что «В конкурентной борьбе победит тот, кто победит в вычислении

Рисунок 9. Сравнение традиционного и передового подходов к производству



Источник: Инжиниринговый центр СПбПУ по материалам [18]

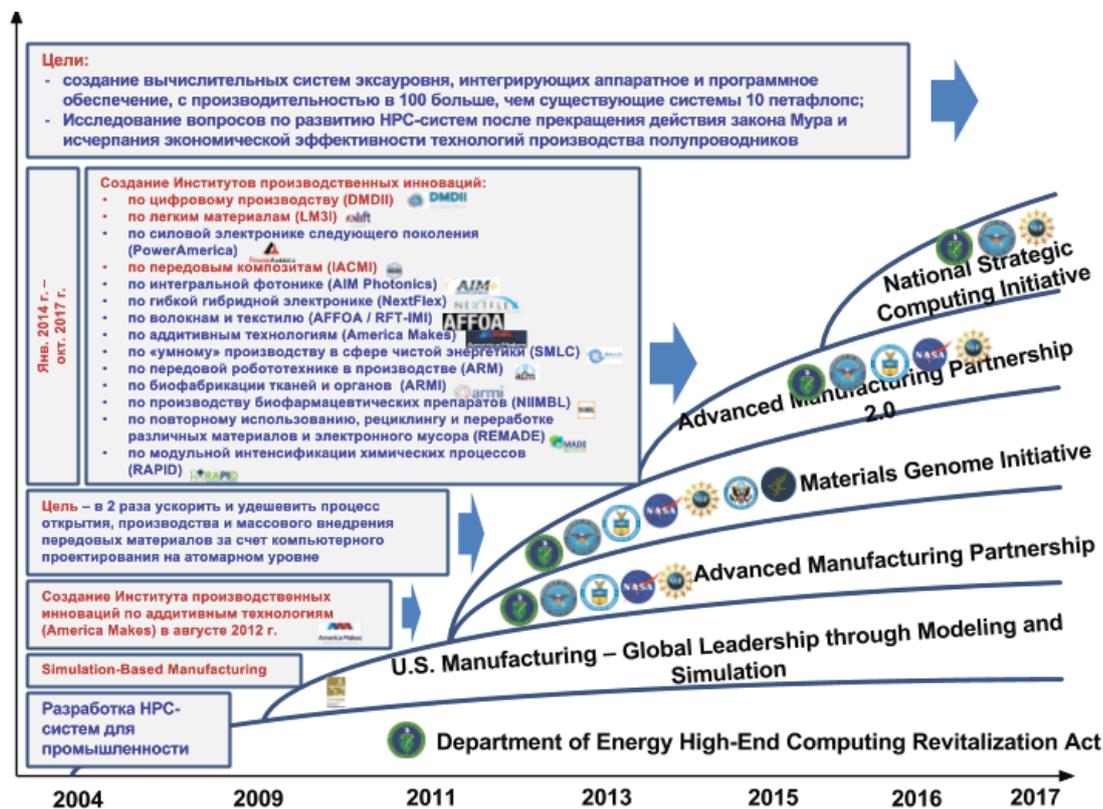
ях» (“For U.S. Manufacturers to Out-compete, They Must Out-compute”) [22]. Итогом доклада явились различные меры на государственном уровне, направленные на внедрение средств компьютерного моделирования и HPC-систем на малых и средних промышленных предприятиях.

Наконец, в 2015 году президент США запустил Национальную стратегическую инициативу в области вычислений, цели которой — создание вычислительных систем, интегрирующих аппаратное и программное обеспечение, с производительностью в 100 раз большей, чем у существующих систем 10 петафлопс (то есть 1 эксафлопс), а также исследование вопросов по развитию HPC-систем после прекращения действия закона Мура и истощения экономической эффективности технологий производства полупроводников [23].

Одновременно в 2011 году стартовала уже вышеуказанная инициатива Advanced Manufacturing Partnership, а также Materials Genome Initiative (MGI), цель которой — в два раза ускорить и удешевить процесс открытия, производства и массового внедрения передовых материалов за счет компьютерного проектирования на атомарном уровне.

В основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования лежит использование сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям и физико-механическим процессам (включая технологические и производственные), описываемых уравнениями математической физики, в первую очередь, 3D нестационарными нелинейными диф-

Рисунок 10. Аддитивное комплексирование государственных инициатив по развитию HPC-систем, передовых материалов и передовых производственных технологий в США



Источник: Инжиниринговый центр СПбПУ по материалам [21; 22; 23; 24; 25]

ференциальными уравнениями в частных производных.

Такие математические модели, или «умные» модели, агрегируют в себе все знания, которые применяются при создании продукта:

1) фундаментальные науки и законы (математическая физика, теории колебаний, упругости, пластичности и т. д., механика разрушения, механика композиционных материалов и композитных структур, контактного взаимодействия, динамика и прочность машин, вычислительная механика, гидроаэродинамика, тепломассообмен, электромагнетизм, акустика, технологическая механика и др.);

2) геометрические (CAD) и вычислительные конечно-элементные (CAE) полномасштабные модели реальных объектов и физико-механических процессов;

3) полные данные о материалах, из которых изготавливается изделие;

4) информацию об эксплуатационных режимах, включая информацию, которая обеспечивает заданное поведение конструкции в тех или иных ситуациях (так называемое программируемое поведение);

5) данные о технологиях производства как отдельных элементов, так и конструкций в целом;

6) прочие параметры.

Суть «умной» модели целесообразно раскрыть на примере автомобилестроения — наиболее наукоемкой, динамично развивающейся и высококонкурентной отрасли, в которой выходящая на рынок продукция постоянно изучается конкурентами в части использованных технологий и — зачастую делается реверсивный инжиниринг, в частности, именно этот подход запустил масштабные изменения китайской промышленности. Современный автомобиль должен удовлетворять как огромному числу целевых факторов и показателей, включая потребительские качества (комфорт, эргономичность, современный внешний вид и т. д.), так и требования активной и пассивной безопасности, аэродинамики, технологичности и т. д.

Наиболее полной и сложной оценкой качества и безопасности автомобиля является натуральный краш-тест. Каждый автомобиль должен удовлетворять всем требованиям серии сертификационных и рейтинговых испытаний, для того чтобы обеспечить его глобальную конкурентоспособность на мировом рынке. При этом натурные испытания являются чрезвычайно дорогостоящими, поэтому единственным способом минимизировать издержки и сократить время вывода на рынок автомобиля является проведение виртуальных испытаний (подчеркнем, что у лидеров мирового автомобилестроения произошло радикальное изменение соотношения числа натуральных и виртуальных испытаний: если в 2007 году соотношение было 100 к 100, то в 2017 году — уже 5 к 10 000!). Результаты тысяч и десятков тысяч виртуальных испытаний, выполняемых в автоматизированном режиме, используются при создании «умной» модели, что позволяет, например, программировать разрушение 5 000 – 8 000 сварных точек кузова автомобиля при различных столкновениях таким образом, что достигается должный уровень пассивной безопасности (нелинейное деформирование и разрушение элементов кузова обеспечивают выживание и минимальную травмируемость водителя и пассажиров). Именно такое поведение автомобиля и фиксируется в ходе натурального краш-теста — высокий уровень детализации «умной» модели позволяет запрограммировать поведение каждого элемента конструкции в эксплуатационных и аварийных условиях.

Виртуальный краш-тест является мультидисциплинарной вершиной, в которой представлены практически все науки — от материаловедения до технологии изготовления — и, конечно же, все процессы, связанные с аэродинамикой, вибрациями, динамикой, прочностью и усталостью, все типы нелинейностей (геометрические, физические, контактные взаимодействия, локальные разрушения) и т. д.

В целях уменьшения массы конструкции, себестоимости, улучшения прочностных, эксплуатационных и других показателей в кузове автомобиля применяется более 200 различных

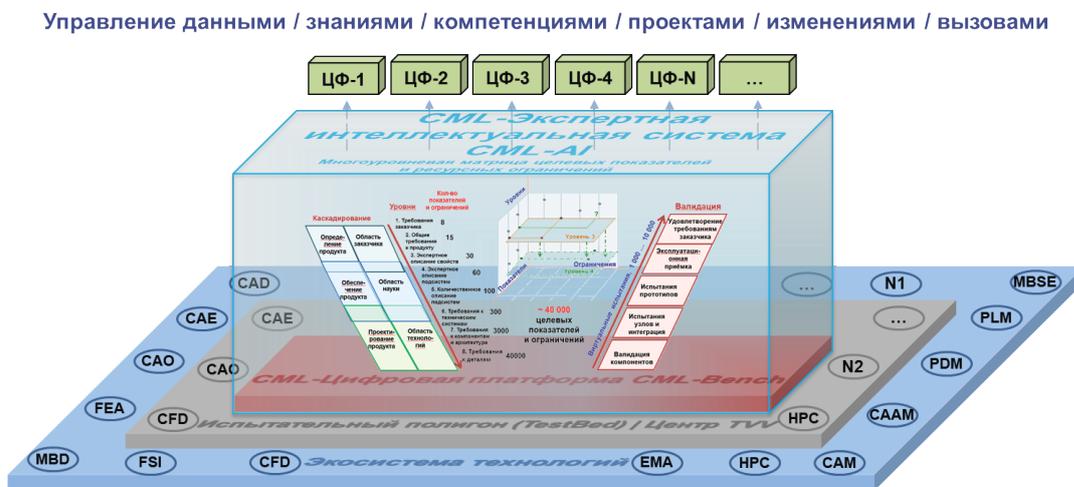
материалов, среди которых металлы, сплавы, полимеры, композиционные материалы, наконец, метаматериалы. Для корректного описания физико-механических процессов, проходящих в конструкции при различных воздействиях, например, динамических, для каждого материала необходимо знать достаточно обширный набор параметров и характеристик, включая кривые упруго-пластического деформирования при различных скоростях деформирования, критерии начала разрушения, модели его развития, модели накопления повреждений в материале и т. д.

Помимо свойств материала для достоверной оценки поведения тех ли иных элементов конструкции кузова в рамках создания «умной» модели важно также учитывать технологии изготовления данных элементов, например, литье, «интеллектуальную» штамповку, учет предварительного напряженно-деформированного состояния и утонения, коробления и т. д. деталей после технологических процессов. Эти факторы способны повлиять на поведение конструкции в целом. Помимо

этого также проводится виртуальная оценка технологичности деталей – возможно ли изготовить их тем или иным способом, будет ли обеспечен требуемый уровень прочности и других характеристик.

Не менее важно учесть сопряжения элементов конструкции кузова между собой. Они осуществляются посредством сварных точек и швов, клеевых линий. Лишь в одном кузове может присутствовать более 7 000 сварных точек и более 6 метров сварных швов, различные виды клеевых соединений – стекольный, структурный, полуструктурный, расширяющийся. Для каждого из них характерна своя модель поведения при различных воздействиях. От расположения сварных соединений сильно зависит поведение конструкции кузова (прочность, вибрации, усталость, долговечность, акустика, ...), а при краш-тестах чрезвычайно важны зоны программируемого разрушения, благодаря чему в определенные моменты времени разрушаются строго определенные элементы конструкции и, что принципиально важно, таким образом, чтобы

Рисунок 11. Экосистема технологий, испытательный полигон (TestBed), CML-Цифровая платформа CML-Bench, CML-Экспертная интеллектуальная система CML-AI, Цифровые фабрики



Ключевые компетенции:

1. “Мгновенная” кастомизация
2. Системный инжиниринг
3. Многоуровневая матрица целевых показателей и ресурсных ограничений
4. Валидация / Адекватность моделей
5. “Цифровая сертификация”
6. ...

Источник: Инжиниринговый центр СПбПУ

обеспечить безопасность пассажиров.

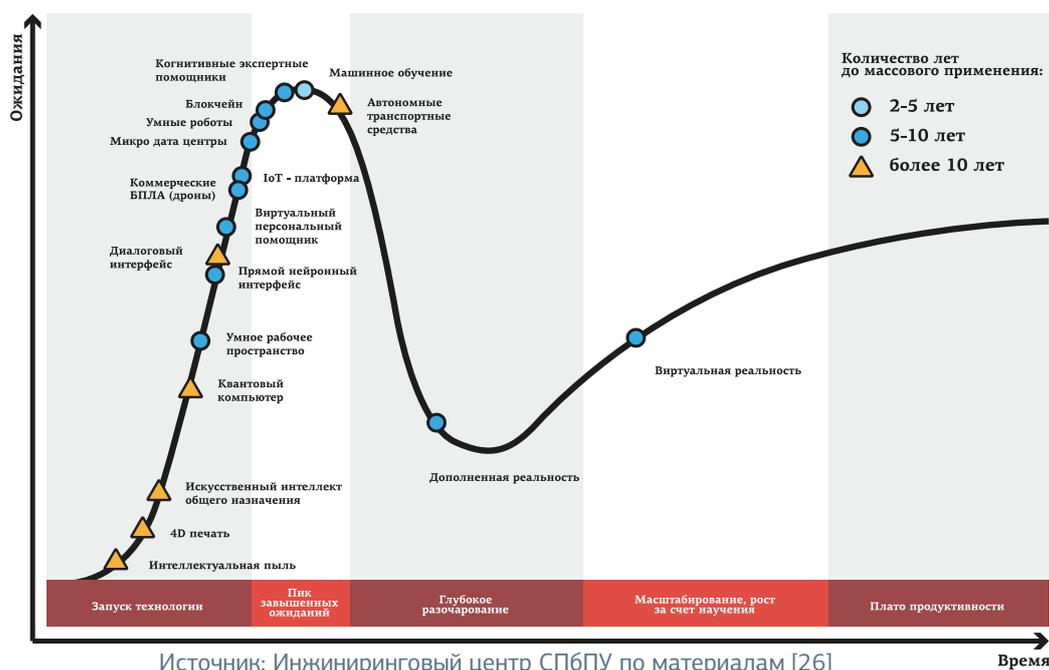
В конструкции автомобиля присутствует большое количество различных механизмов, таких как двигатель, подвеска, капот и крышка багажника, в некоторых исполнениях автомобиль обладает механизмом складывающейся крыши или сдвижной двери. «Умная» модель обладает информацией о каждом узле механизма, о его кинематических особенностях, позволяя оценить качество функционирования.

Для проведения виртуальных краш-тестов необходимо иметь полные виртуальные аналоги всего испытательного оборудования, которое применяется при проведении натуральных испытаний. Они составляют виртуальный испытательный полигон, в который входят модели антропоморфных манекенов, которые позволяют с высокой степенью точности воспроизвести механическое поведение тела человека при различных динамических воздействиях и оценить критерии травмирования, более 10 000 измерительных датчиков,

более 20 барьеров для проведения испытаний по различным сертификационным и рейтинговым испытаниям, и 20 ударников различных частей тела человека для дополнительных оценок, в том числе оценок безопасности пешеходов при столкновении с автомобилем.

Ударное взаимодействие автомобиля с преградами, или краш-тест, – быстропротекающий динамический процесс, длительность которого составляет порядка 200–250 мс. Шаг интегрирования для численного решения задач составляет 1 мкс. Общее количество шагов интегрирования достигает более 200 000. Вся эта информация образует большие данные «на входе» (более $2 \cdot 10^{12}$ параметров) «умной» модели. Проведенные виртуальные испытания дополняют этот массив – Smart Big Data «на выходе»: при суперкомпьютерном моделировании процесса длительностью 200 мс на выходе получается массив данных, содержащий более 10^{14} параметров. В $\sim (1...3) \cdot 10^7$ узлов регулярно считываются более 50 параметров,

Рисунок 12. Отдельные производственные технологии на цикле зрелости технологии Гартнера 2016 года (Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies)



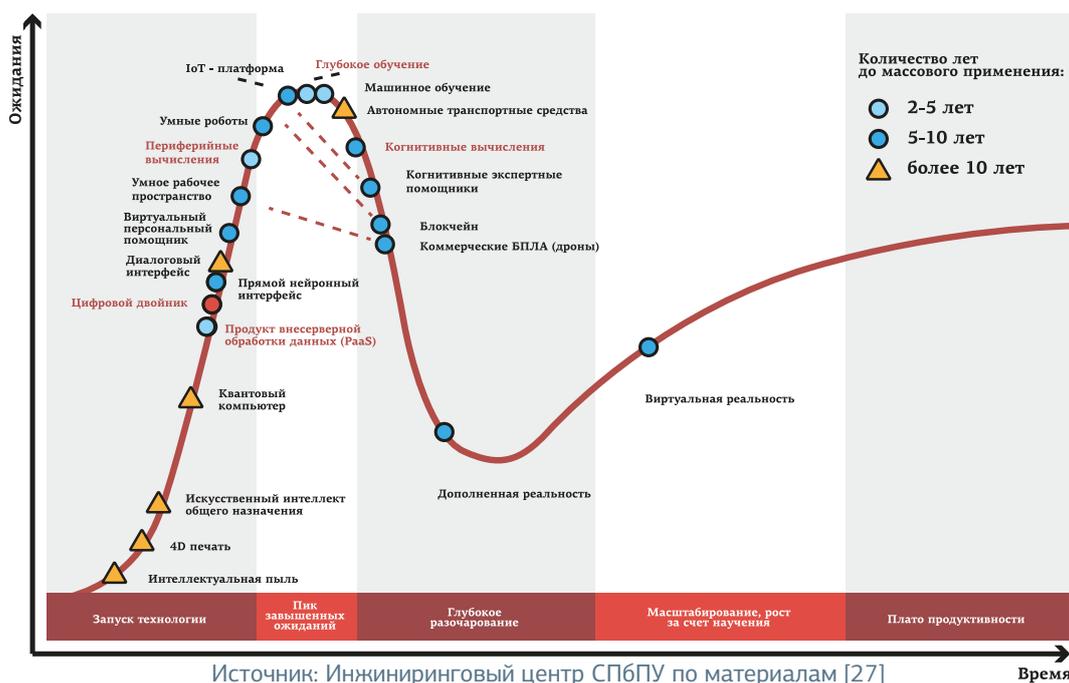
таких как перемещения, скорости, ускорения, деформации, напряжения и др. В итоге получается $5 \cdot 10^8$ кривых, исчерпывающе описывающих поведение «умной» модели.

Таким образом, новая парадигма Smart Digital Twin – [(Simulation & Optimization)-Based Smart Big Data]-Driven Advanced (Design and Manufacturing) – проектирование и передовое производство, драйвером которых является «умный» цифровой двойник, формируемый в результате численного моделирования и оптимизации на основе «умных» больших данных – чрезвычайно мало имеет общего с простой 3D геометрической моделью и кинематическими расчетами, которые, в основном, и представлены в промышленности и с которыми зачастую (неверно) ассоциируется цифровое проектирование и моделирование. При создании «умной» модели задается многоуровневая матрица целевых показателей и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных и т.д.). Опыт решения слож-

ных промышленных задач свидетельствует, что такая матрица содержит десятки тысяч (~ 40 000 ... ~ 60 000) целевых показателей и требований, предъявляемых к продукту в целом, к его компонентам и деталям в отдельности, а также ресурсных ограничений.

Далее, на основе выполнения десятков тысяч виртуальных испытаний формируется «цифровой двойник» (Smart Digital Twin) реального объекта, который ведет себя с высокой степенью точности так же, как и реальный объект на всех этапах жизненного цикла, включая, естественно, этап эксплуатации объекта. В Инжиниринговом центре СПбПУ и ГК CompMechLab® весь процесс цифрового проектирования и моделирования, включая формирование многоуровневой матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений, разработки «умных» моделей, выполнения десятков тысяч виртуальных испытаний, наконец, разработки цифровых двойников, выполняется на основе специально разработанной

Рисунок 13. Отдельные производственные технологии на цикле зрелости технологии Гартнера 2017 года (Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies)



CML-Цифровой платформы CML-Bench, которая обеспечивает чрезвычайно высокую степень автоматизации процесса разработки на основе всех лучших передовых технологий мирового уровня («экосистемы технологий»), общая трудоемкость разработки которых превышает 1 000 000 человеко-лет. Для одновременного удовлетворения десяткам тысяч целевых показателей и ресурсных ограничений применяется CML-Экспертная интеллектуальная система CML-AI, которая, фактически, является «интеллектуальным помощником» и развитием в направлении применения искусственного интеллекта в наиболее сложном и творческом процессе — процессе проектирования.

Этот новый подход, отвечающий глобальным трендам IV промышленной революции и цифровой экономики, позволяет проводить разработки значительно быстрее, дешевле и с помощью значительно меньшего числа работников, существенно снижает риски увеличения сроков и повышения стоимости разработки, позволяет значительно снижать объемы натурных испытаний, на-

конец, позволяет динамично и эффективно управлять изменениями целевых характеристик и учитывать новые ограничения, возникающие на этапах проектирования, производства или эксплуатации.

Подчеркнем, что, несмотря на свою ключевую роль в IV промышленной революции и планомерную эффективную разработку на протяжении последних десяти лет высокотехнологичными компаниями — мировыми лидерами, начиная с тотальной дигитализации и разработки цифровых макетов (Digital Mock-Up, DMU), цифровой двойник лишь в 2017 году впервые появился на цикле зрелости технологии Гартнера (Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies).

Сегодня существуют разные подходы к определению цифрового двойника. Например, компания Siemens PLM Software рассматривает его как пересечение четырех областей — разработки продукта, планирования производства, устройства производственных помещений и реального мира, причем с особым вниманием, уделяемым производству. В Dassault Systèmes

Рисунок 14. Трехуровневая схема Фабрик Будущего, представленная 14 февраля 2017 года в ходе одобрения дорожной карты «Технет» НТИ на заседании президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России под руководством Председателя Правительства РФ Д.А. Медведева

I. Фабрика Будущего – это определенный тип системы бизнес-процессов (способ комбинирования бизнес-процессов), имеющий следующие характеристики:



Источник: Инжиниринговый центр СПбПУ

предпочитают использовать термин «виртуальный двойник», который представляет собой развитие стратегии системного инжиниринга компании. Виртуальный двойник позволяет команде разработчиков создавать продукт, сочетающий в себе механические, электрические, электронные, гидравлические и прочие системы, а затем испытывать его и обращаться с ним, изучая его поведение в различных условиях (нагрузок, вибраций, работы программного обеспечения, систем управления и т.д.). Наконец, в корпорации РТС термин «цифровой двойник» используется для обозначения точной цифровой копии уже созданного конкретного продукта, в отличие от САД-модели, которая служит для представления множества разных продуктов, пусть и имеющих одинаковую конструкцию [28].

В России разработка цифровых двойников ведется в рамках создания Цифровых, «Умных», Виртуальных Фабрик Будущего (Digital, Smart, Virtual Factories of the Future). Концепция Фабрик Будущего реализуется в рамках дорожной карты «Технет» Национальной технологической инициативы (НТИ) и мегапроекта «Фабрики Будущего», нацеленного на развитие и повышение конкурентоспособности отечественной высокотехнологичной промышленности за счет решения инженерно-технологических проблем-вызовов (Industrial Challenge Problems) государственного значения, которые не удастся решить высокотехнологичным предприятиям с помощью традиционных подходов. Проект «Фабрики Будущего» был одобрен на расширенном заседании Наблюдательного совета АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов», состоявшемся 21 июля 2016 года под председательством Президента РФ В.В. Путина, и по его итогам ведется работа по формированию перечня перспективных долгосрочных проектов по направлениям Национальной технологической инициативы для реализации проекта «Фабрики Будущего» [29].

Сейчас Инжиниринговым центром СПбПУ (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого) и ГК ComMechLab® ведется активная работа по созданию Фабрик Будущего с высокотехнологичными предприятиями из различных от-

раслей промышленности — автомобилестроения (центральный институт отрасли «НАМИ», Ульяновский автомобильный завод, «Волгабас»), двигателестроения («ОДК-Сатурн»), судостроения и кораблестроения (Средне-Невский судостроительный завод, СПМБМ «Малахит»), авиастроения и вертолетостроения (Объединенная авиастроительная корпорация / «Гражданские самолеты Сухого» / «Корпорация «Иркут» / «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина» и холдинг «Вертолеты России» / конструкторское бюро «Камов» и Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля). В последние месяцы в процессе цифровой трансформации по инициативе президента Республики Татарстан Р.Н. Минниханова включились машиностроительные предприятия РТ: НПО «ОКБ им. М.П. Симонова», Казанское моторостроительное производственное объединение, Казанский вертолетный завод и КамаЗ.

Решение инженерно-технологических проблем-вызовов (Industrial Challenge Problems) государственного значения в рамках мегапроекта «Фабрики Будущего» требует кадров новой формации – системных мультидисциплинарных инженеров, обладающих компетенциями мирового уровня («инженерный спецназ») и технологических предпринимателей, разбирающихся в наукоемком высокотехнологичном бизнесе.

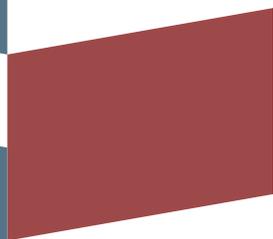
В рамках решения проблем-вызовов предприятий высокотехнологичной промышленности Инжиниринговый центр СПбПУ и ГК ComMechLab®, лауреат Национальной промышленной премии РФ «Индустрия-2017», осуществляют опережающую практико-ориентированную целевую подготовку специалистов в рамках выполнения НИОКР по заказам отечественной и зарубежной промышленности. Такой подход реализует специально созданный Институт передовых производственных технологий (ИППТ) СПбПУ [подробнее об ИППТ-модели образовательной, исследовательской и инновационно-предпринимательской деятельности см. 30; 31].

ЧЕК-ЛИСТ ДЕЙСТВИЙ

- Осознать стоящий перед компанией вызов гиперконкуренции на глобальных рынках в условиях IV промышленной революции
- Определить научно-технологический задел компании, который является основой для ее лидерства на глобальных рынках (провести позиционирование и дифференциацию)
- Определить «нерешаемые» инженерно-технологические проблемы-вызовы, которые могут быть решены за счет применения новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования
- Сформировать проектные команды и проектные консорциумы для решения инженерно-технологических проблем-вызовов из специалистов/компаний, обладающих компетенциями мирового уровня
- Приступить к цифровой трансформации бизнес-процессов в логике Цифровых, «Умных», Виртуальных Фабрик Будущего

Глава 3

Комплексная оценка развития предприятия как инструмент повышения производительности труда



Резюме главы:

Для ускорения развития компании предложено начинать программы цифровых изменений с диагностики предприятия.

Для этого разработана и представлена методология диагностики, модель зрелости цифровой производственной компании (ODM₃), комплексный опросный лист. Описана каждая из ступеней зрелости по пятнадцати направлениям.

Предлагается определять место компании при сравнении со средними рыночными маркерами и ставить цели развития в программах цифровой трансформации с помощью оценки по вышеописанным критериям. Наиболее точная и аккуратная оценка при этом будет получена при участии в бенчмаркинге отраслевых экспертов и компаний, имеющих максимальный опыт работы с технологиями и системами нового технологического уклада.

Итак, мы определили пятнадцать ключевых компонентов современного производства и описали систему технологий, без внедрения и работы которых сегодня производственное предприятие не сможет выпускать продукцию, конкурентоспособную продуктам динамично развивающихся глобальных лидеров.

В настоящей части доклада мы представляем разработанную на базе более чем десятилетнего опыта работы в глобальных машиностроительных корпорациях методологию комплексной оценки степени развития производственной компании или группы компаний, предназначенную для определения положения и целевой модели развития компании в условиях нового технологического уклада.

Сегодня предприятия все чаще для определения своего места в конкурентной среде и понимания направления развития производственных систем и технологий используют системы инструментов бенчмаркинга. Оценка на основании простых и понятных метрик, маркеров и индикаторов – эффективный путь проектирования траектории развития компании, тактического и стратегического целеполагания и последующего управления проектами внутренних изменений. На основании такого подхода реализуются проекты и программы развития компаний, отраслей, территорий.

В настоящее время в мире развиты и активно используются как минимум три си-

стемы оценки развития ключевых бизнес-направлений предприятия (maturity models):

1. Методология оценки зрелости компании в управлении проектами американского института управления проектами (Project Management Institute, PMI). OPM₃, Organizational Project Management Maturity Model — модель зрелости организационного управления проектами [33].

2. Методологии оценки зрелости компании в использовании технологий информационного моделирования зданий (Building Information Modelling, BIM), BIM framework [34] команды международных исследователей и Bew-Richards BIM Maturity Model (Великобритания).

3. Методология оценки зрелости компании в использовании технологий бережливого производства (lean). Global Benchmarking (GBM) – глобальный сравнительный анализ, применяемый компанией Toyota Engineering Corporation для оценки степени внедрения технологий бережливого производства [35].

Мы предлагаем компаниям определять свои возможности, ставить цели развития и повышения производительности труда с помощью комплексной модели оценки степени развития цифровой производственной компании.

Разработанная методология, Organizational Digital Manufacturing Maturity Model — ODM₃, Модель Зрелости Цифровой Производственной Компании, позволяет решать следующие задачи:

1. Оценивать компании через сопоставительный анализ с наиболее развитыми

предприятиями посредством использования системы оценки лучших практик цифрового производства отраслевых лидеров.

2. Визуализировать стадию развития компании во внедрении ключевых компонентов и систем цифрового производства для планирования и реализации производственной программы, а также достижения стратегических целей компании.

3. Определять направления развития компании для поддержки в достижении лучших бизнес-результатов, включая развитие специалистов компании.

4. Моделировать экономический эффект в результате внедрения ключевых производственных технологий.

5. При управлении национальной экономикой – определять состояние отраслей, ставить цели развития и координировать их достижение для отраслевых флагманов.

Согласно исследованию [36], организация и развитие цифровых производств позволяет достичь следующих результатов:

- уменьшения затрат посредством лучшей утилизации ресурсов до 30%;
- уменьшения производственных затрат до 13 %;
- роста объемов выпуска продукции до 15%;
- уменьшения времени вывода товара на рынок до 30 %.

По этим причинам руководству предприятия чрезвычайно важно диагностировать уровень развития ключевых компонентов, оценить степень влияния их состояния на финансовый результат работы компании, разработать и реализовать программу развития ключевых технологических компонентов.

Для детальной диагностики предприятия авторами настоящего исследования разработан опросный лист диагностики зрелости, приведённый в приложении 1.

Возможные результаты от использования методологии для различных институтов, отраслей и бизнесов представлен в таблице 1.

В источниках [33-35] выделены пять уровней развития производительности компании:

1. Ad Hoc, случайный. Использование технологического решения или системы

нерегулярное и неплановое. Правила и методики использования не определены. Используются общие, зачастую разработанные без опоры на лучшие практики инструменты. Программа развития направлений не разработана, связь технологии и производительности компании для руководства предприятия не определена. Компания исследует возможности развития, через финансовое моделирование, оценку рынка и возврата инвестиций осознает выгодность для себя модернизации через внедрение технологий. Оцениваются зависимости между технологиями, средствами производства, качественными характеристиками продуктов и производительностью труда. В организационной культуре компании и поведенческих навыках руководителей доминируют технологическая надменность и высокомерие.

2. Defined, базовый. Определен единый подход к внедрению технологий. Определена результативность работы технологий для обеспечения эффективности работы компании. Реализованы отдельные технологические модули. Осознана потребность в изменениях через анализ практик и референс-визитов в компании с более высоким уровнем цифровой зрелости. Сформировано понимание эффективности использования цифровых технологий и систем. Формируются исследовательские и аналитические результаты. Планируется использование технологий, определены результаты оценки влияния систем и технологий на эффективность компании.

3. Managed, управляемый. Высший менеджмент и другие уровни организационной структуры компании активно вовлечены в интеграцию технологии в производственный процесс и операционную деятельность. Члены команд и руководители получили необходимое образование для обеспечения эффективной работы технологии. Организация внедряет технологии с помощью гибких проектных подходов. Системы и технологии работают в опытной эксплуатации. Компания формирует и накапливает интеллектуальный капитал, лучшие практики и извлеченные уроки.

4. Integrated, интегрируемый. Внедрение технологий скоординировано со стратегиче-

скими целями компании. Результаты работы технологий синхронизируются с продуктами других систем и тесно интегрированы в бизнес-процессы компании. Ряд технологий и систем цифрового производства внедрены и работают в промышленной эксплуатации. Развитие компании основано на документированных результатах от использования систем и технологий.

5. Optimized, оптимизируемый. Компания сформировала объем документированных процедур, количественно и качественно достаточный для тиражирования в рамках ее глобальной экспансии. Лучшие практики и

извлеченные уроки управления проектами развития направлений систематизированы в информационных банках накопленных знаний, интеллектуального капитала компаний (corporate books of knowledge). Предприятие обеспечивает тиражирование ноу-хау, лучших практик, технологических и производственных систем на новые рынки через развитие сети дочерних предприятий. Оценены и описаны финансовые, временные, качественные результаты для хозяйственной деятельности компании от внедрения систем и технологий.

Руководители компании принимают ре-

Таблица 1

	Объект	Результат от использования ODM3
1	Федеральное управление: министерство промышленности	Показатели технологической вооруженности реального сектора экономики страны (материального производства). Создание пакетов рабочих инструментов для построения конкурентоспособной экономики. Основа создания и инструментальная платформа цифровой экономики. Определение места и мониторинг конкурентоспособности российских промышленных предприятий на международном уровне.
2	Отрасль как система предприятий: машиностроение, металлургия	Стимулы развития и целевая модель для развития. Основа для проектирования и создания цифровой экономики. Тиражирование технологических центров компетенций.
3	Государственный институт развития промышленности: ФРП, АТР, ВЭБ	Связь решений об инвестициях со стадиями зрелости, эффективности и развития производственной компании. Основа для проектно-ориентированного подхода при реализации инвестиционных программ. Определение эффективности уже реализованных программ поддержки предприятий. Разработка технологических дорожных карт.
4	Региональное управление: Аппарат Губернатора	Карта здоровья (технологической зрелости) предприятий региона и карта целей их развития. Обмен лучшими практиками внутри региона. Формирование и развитие кооперационных связей производственных и инжиниринговых компаний региона и страны. Развитие региональных центров технологической компетенции.
5	Предприятие-производитель	Аудит технологической и производственной зрелости компании. Определение точек развития предприятия. Повышение производительности труда. Проектирование инструментальной системы для реализации стратегии развития компании. Интеграция карты взаимодействия с вендорами, системными интеграторами, инженерным консалтингом для развития компании.
6	Инженерный центр, технологический предприниматель	Система инструментов для технологического, производственного, инженерного и производственного консалтинга, аудита технологического развития. Определение и занятие места в системе разделения труда и кооперационных связях производителей.
7	Управление образованием	Система координат для развития образовательных систем и кластеров, программ профессионального развития, новых программ и специальностей в ВУЗах.

шения, какой из уровней развития в конкретном временном и функциональном контексте представляет оптимальный баланс между затратами и преимуществами и, следовательно, какой из уровней будет определен в качестве целей для запланированного процесса цифровой трансформации.

Рассмотрим уровни развития каждого из ключевых компонентов современного производства по направлениям конструкторской и технологической подготовки производства, производственных процессов, управления ресурсами и материального снабжения (рисунок 15).

Раздел 1. Единое информационное производство.

Сегмент 1.

Единая система управления информацией предприятия, единое информационное пространство, EIM.

Включает системы автоматизации жизненного цикла продукта, рис. 16

1.1 Ad-Hoc случайный уровень развития. На предприятии конструкторская документация разрабатывается с помощью не системно

используемого двумерного непараметрического CAD. Другие подсистемы EIM не внедряются, предприятие не имеет планов их внедрения.

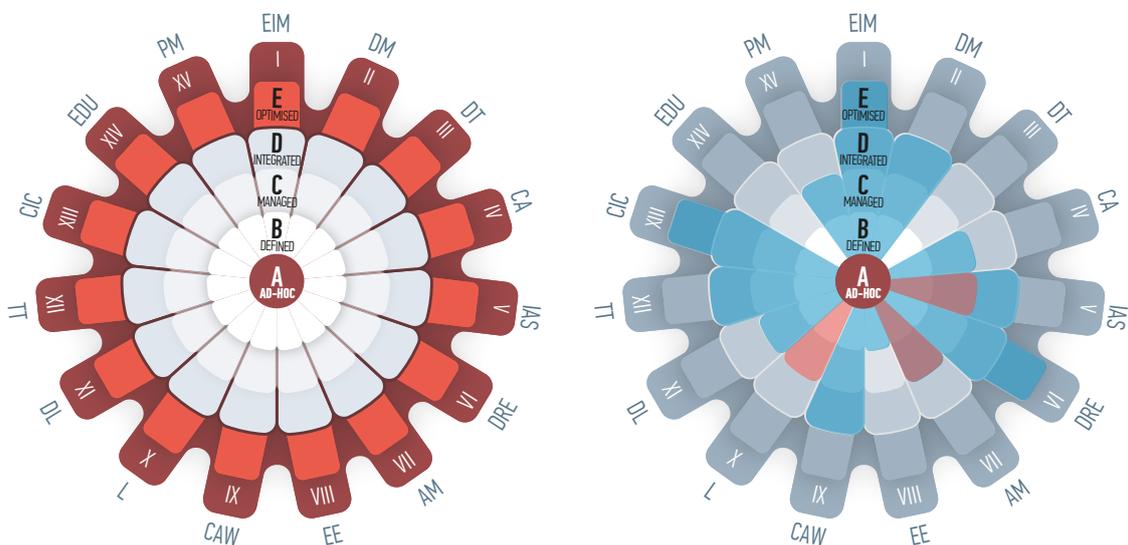
1.2 Defined базовый уровень развития. Параметрический 3D CAD и расчеты с помощью CAE систем. Результаты работы конструкторского и технологического бюро хранятся в папках рабочих компьютеров. PDM система не внедрена.

1.3 Managed управляемый уровень развития. 3D CAD, CAE, CAM, PDM. Утвержден план внедрения ERP системы и интеграции ее с другими системами.

1.4 Integrated интегрируемый уровень развития. Внедрены ключевые PLM модули, информация о составах изделия и характеристиках продукции передается в ERP. Калькуляция себестоимости изделий, ведение заказов, управление ресурсами предприятия производится в ERP.

1.5 Optimized оптимизируемый уровень развития. Внедрены и работают в единой EIM метасистеме CAD, CAM, CAE, PDM, ERP, MES, MDC. Руководители компании получают информацию о производительности компании и исполнении производственной про-

Рисунок 15. Уровни развития, слева и результат диагностики развития компании, справа, цветами, отмечены компания сравнения и сравниваемая



граммы посредством системы бизнес-аналитики. Общая шина данных и обмен данными между системами эффективно работают и являются основанием долгосрочной стратегии развития компании [36].

Сегмент 2.

Цифровое моделирование бизнес-процессов и технологических процессов компании.

Влияние ключевых, в том числе описанных в настоящем материале, технологий и средств производства на эффективность и производительность предприятия подтверждается виртуальным и модельным экспериментом для каждого конкретного предприятия. Именно это делают сегодня европейские предприятия через проектирование цифровых информационных моделей производственных процессов [37], участков и целых заводов (пример инструмента: Siemens Tecnomatix Plant Simulation) и модельный эксперимент (центр трансфор-

мации Индустрии 4.0 в Ахене, шестая глава настоящей работы). Технологические лидеры сегодня создают предприятия-прототипы, моделирующие будущие технологические процессы, с полностью цифровой системой управления жизненным циклом продукта, как это сделали в Сименс на заводе в Амберге или консорциумом компаний Hewlett-Packard, National Instruments, PTC на заводе в Ахене (Германия).

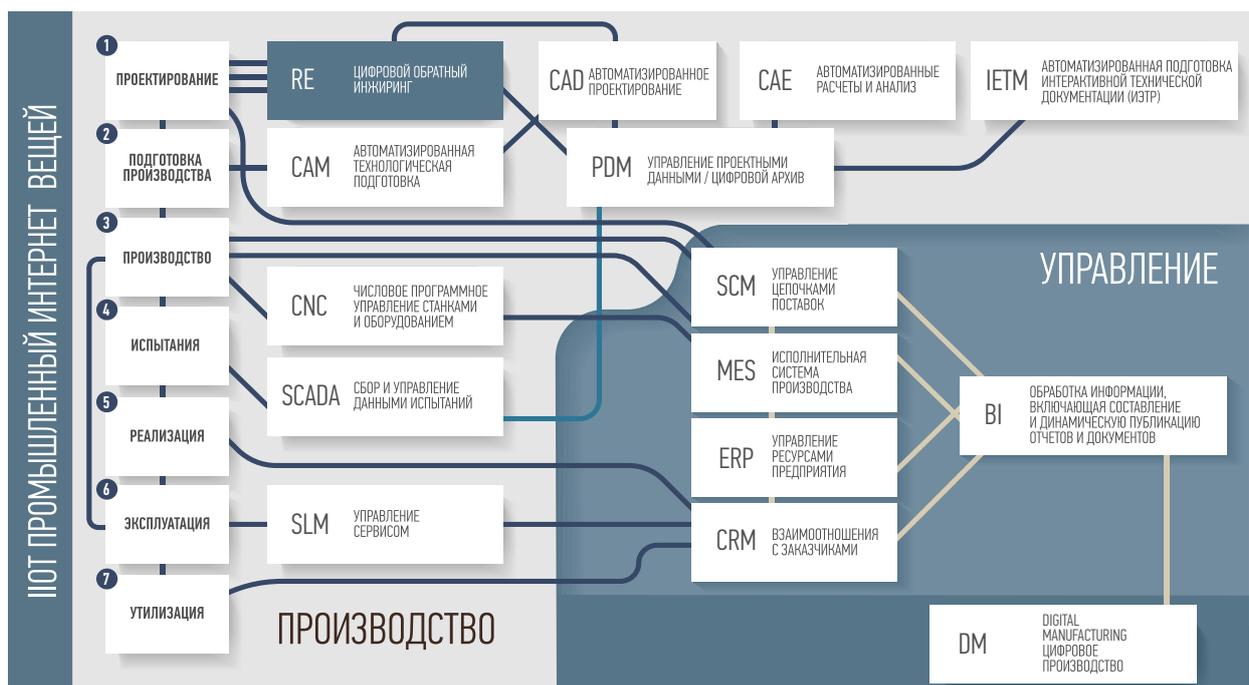
2.1 Ad-Hoc Разрабатываются и утверждаются блок-схемы, регламентирующие бизнес-процессы. Документируются в бумажных регламентах процедуры компании.

2.2 Defined Производится функциональное моделирование, моделирование потоков работ, потоков данных на основе международных стандартов и методологий.

2.3 Managed Обеспечено партнерство с компанией, создающей комплексную цифровую модель бизнес-процессов и технологических процессов предприятия.

2.4 Integrated Модели технологических

Рисунок 16. Модули и системы метасистемы EIM



процессов и производства предприятия используются для корректировки производственной программы и стратегических целей компании.

2.5 Optimized Развитие производства моделируется с помощью цифрового двойника компании. Планирование стратегического развития поддерживается цифровой моделью предприятия, полностью описывающей бизнес-процессы. Перед запуском серийного производства технологические процессы совершенствуются через прототипирование мелкосерийным производством. Моделируются бизнес-процессы продаж и рыночной экспансии, распределения ресурсов и утилизации продуктов [37].

Сегмент 3.

Конвергенция цифрового и физического в разрабатываемом продукте. Полная информационная модель выпускаемого продукта (цифровой двойник).

3.1 Ad-Hoc. Отделы систем управления (АСУТП) и инженеров-конструкторов механики проектируют последовательно, зачастую независимо друг от друга. Функционал продуктов не подразумевает объединения цифрового управления и физических исполнительных механизмов. При разработке продуктов используются двумерные параметрические системы проектирования (CAD). Конструкторская, технологическая и эксплуатационная документация не связана в одном цифровом продукте.

3.2 Defined Проектные работы организованы в кроссфункциональных командах при тесном взаимодействии программистов, конструкторов и специалистов автоматики. Реализован пилотный проект выпуска продукта с объединением цифрового и физического функционала. Проектирование ведется в параметрическом 3D CAD, но модели не хранятся в электронном архиве и не дополняются до полной цифровой модели продукта.

3.3 Managed В производственной программе появляются продукты с интегрированной цифровой системой управления и функционалом обратной связи от продуктов

к разработчикам продуктов. В PDM системе хранятся только трехмерные твердотельные модели сборочных единиц без информации, описывающей полный состав изделия, а также сервисных и эксплуатационных модулей.

3.4 Integrated. Компания активно работает с партнерами-поставщиками решений автоматизации и цифрового управления производимых продуктов с рядом выполненных совместно комплексных проектов. В производственной программе появляются системы продуктов с интегрированным цифровым управлением. Вместе с 3D моделью в PDM системе хранится и используется полный электронный состав продукта, включая информацию о контрольно-измерительных приборах, системе управления и полный комплект эксплуатационной документации (ИЭТР, интерактивное электронное техническое руководство).

3.5 Optimized Эскизный проект конструктора включает интегрированные компоненты механики, автоматики, управления и контроля разрабатываемого продукта. В компании нет разделения между НИОКР отделов АСУТП и механики. На стадии эскизного проекта реализуются возможности предиктивной аналитики при сервисе систем продуктов, в том числе через специализированные программные решения. Вместе с продуктом заказчику поставляется цифровой двойник продукта, используемый при сервисе с дополненной реальностью. Компания предлагает услуги сервиса с дополненной реальностью. Компания получает обратную связь от потребителя продукта через предусмотренные при проектировании цифровые каналы, интегрированные в метасистемы продуктов (рисунок 17).

Сегмент 4.

Корпоративная инновационная система

4.1 Ad-Hoc. В компании нет инновационного центра, корпоративного акселератора, инновационной лаборатории.

4.2 Defined Анализируются возможности создания корпоративной инновационной си-

системы (ее описание приведено в главе 3), решения, лучшие практики и извлеченные уроки других предприятий, есть аналитический отчет. Запланировано создание и развитие аппаратного центра прототипирования и акселератора компании, разработан бизнес-план.

1.3 Managed Заключены партнерские соглашения с внешней платформой для развития корпоративного инновационного центра. Есть план запуска репозитория программного обеспечения и/или внешнего банка данных 3D моделей. Проведена опытная эксплуатация подсистем платформы, сетевой коммуникации команд НИОКР. Заключены и реализуются контракты с внешними центрами прототипирования. Есть выполненные работы по договорам, результаты используются в операционной деятельности компании

4.4 Integrated, Заключены соглашения с внешним инновационным центром, реализуются совместные проекты. Репозиторий или банк моделей в опытной внутренней эксплуатации. Промышленная эксплуатация электронной платформы сетевой коммуникации команд НИОКР. Большая часть проектов выполняется с помощью платформы коммуникации НИОКР команд.

4.5 Optimized В компании работает собственный инновационный центр, корпоративный акселератор или инновационная лаборатория. Компания сформировала инструментальные технологические репозитории или внешний банк 3D моделей. Работает электронная платформа сетевой коммуникации команд НИОКР. Развивается корпоративный венчурный фонд или ведется партнерская работа с внешними венчурными фондами. Более года эффективно работают аппаратный центр прототипирования и акселератор НИОКР проектов.

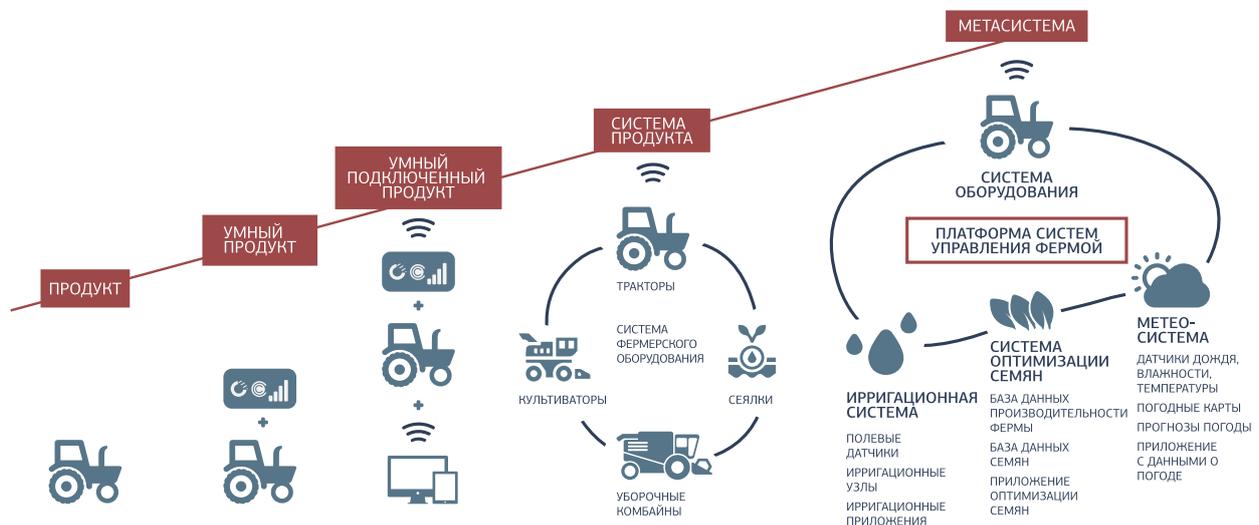
Сегмент 5.

Интеграция в хозяйственную деятельность нематериальных активов (НМА) и результатов интеллектуальной деятельности (РИД).

5.1 Ad-Нос, Интеллектуальная собственность формализована в патентах, но не является источником прибыли и формирования капитала компании.

5.2 Defined Проведен анализ результатов интеллектуальной деятельности (РИД). Сформирован реестр интеллектуальной собственности предприятия.

Рисунок 17. Путь от производства гибридных продуктов к производству киберфизических метасистем (источник: Майкл Портер, Джеймс Хеппельман «Революция в производстве» Harvard Business Review, октябрь 2015)



5.3 Managed Разработаны паспорта нематериальных активов (НМА) и свидетельства результатов интеллектуальной деятельности (РИД). Ведется реестр РИД.

5.4 Integrated, РИД оценены, оформлены и отражены в бухгалтерском балансе компании.

5.5 Optimized Активы компании на 20% и более сформированы из нематериальных активов. Реализованы сделки с нематериальными активами компании в качестве предмета договора. Основную долю добавленной ценности выпускаемой продукции составляет нематериальная составляющая (технология, ноу-хау, патенты, дизайн, методы).

Раздел 2. Производство

Сегмент 6.

Цифровой реверс-инжиниринг. Digital Reverse Engineering (DRE).

6.1 Ad-Hoc, Подразделения НИОКР выполняют эскизирование исследуемых продуктов-прототипов от руки или при помощи самостоятельно произведенных простых приспособлений.

6.2 Defined Компания работает с партнерами, предоставляющими услуги цифрового реверс-инжиниринга, замеров с помощью контрольно-измерительных машин (КИМ) геометрии продуктов-прототипов и преобразования результатов замеров в трехмерные модели.

6.3 Managed В PDM формируется база данных составов изделий продуктов прототипов. В конструкторском бюро развиваются реверс-инженеры, наполняющие и ведущие базу данных сканированных моделей.

6.4 Integrated, В компании работает производственный участок цифрового реверс-инжиниринга и база данных электронных составов изделий продуктов-прототипов. На участке работают базовое оборудование и цифровые КИМ.

6.5 Optimized Развита производственный участок, включая мобильный DRE сервис и специально обученных специалистов. Уча-

сток оснащен системами неразрушающего и разрушающего контроля, оборудованием анализа физико-химического состава. Работают мобильные ремонтные участки в непосредственной близости от заказчика, включая глобальные проекты международных заказчиков.

Сегмент 7.

Аддитивное производство и быстрое прототипирование.

Одно из ключевых ограничений при обеспечении выпуска продукции в соответствии с качественными и временными требованиями нового технологического уклада в Российской экономике – критически малое количество центров прототипирования [37]. Развитие предприятия по направлениям быстрого прототипирования (rapid prototyping) сегодня чрезвычайно важно для обеспечения его конкурентоспособности.

7.1 Ad-Hoc, Предприятие планирует потребность и определяет экономический эффект от использования технологий быстрого прототипирования. Сами технологии на предприятии не используются.

7.2 Defined Предприятие инициировало и ведет опытный проект интеграции технологий быстрого прототипирования в производственную программу. Жизненный цикл некоторых продуктов включает прототипирование с помощью технологий аддитивного производства.

7.3 Managed Заключены контракты предприятия с партнерами, обеспечивающими быстрое прототипирование для ключевых проектов. В организационной структуре определены и обучены специалисты и руководители, отвечающие за внедрение технологий аддитивного производства.

7.4 Integrated, Организована эффективная кооперация с партнером на постоянной основе. Прототипирование производится для ведущихся НИОКР и новых продуктов.

7.5 Optimized На предприятии работает производственный участок, оснащенный промышленными 3D принтерами и оборудованием для быстрого прототипирования. Персонал имеет международные сертифи-

каты по направлениям быстрого прототипирования. Предприятие оказывает услуги быстрого прототипирования для других предприятий. Ряд деталей продуктов полностью изготавливается с помощью аддитивных средств производства.

Сегмент 8.

Энергоэффективность и экологичность.

8.1 Ad-Hoc, Проводится периодический анализ затрат на энергопотребление. Требования к энергоэффективности диктуются общими нормами или не определены.

8.2 Defined Установлена и эффективно функционирует система мгновенного мониторинга энергопотребления, в том числе в кВт, в единицах топлива, в расходах и выбросах CO₂.

8.3 Managed На предприятии применяется система ISO 50001. У руководителей структурных подразделений имеется KPI по энергоэффективности, персонал информирован, используются финансовые и технические методы оптимизации (энергосервис, энергоаудит и др.)

8.4 Integrated, Для выпускаемой продукции проводится анализ и оптимизация энергопотребления на протяжении всего жизненного цикла продукции с подготовкой экологической декларации продукта, Environmental Product Declaration (EPD – ISO 14040, ISO 14044). При проектировании зданий и инфраструктуры используется математическая оптимизация энергопотребления. Ведется учет энергозатрат в продукции на всех стадиях жизненного цикла от сырья до переработки/утилизации.

8.5 Optimized Достигнут нулевой баланс выбросов парниковых газов предприятия. Вся энергия используется из возобновляемых источников или производится 100% компенсация выбросов парниковых газов.

Сегмент 9.

Автоматизированные рабочие места в цехах, сбор данных от средств производства (Machine Data Collection, MDC) и дополненная реальность (Computer Aided Workshops, CAW).

9.1 Ad-Hoc, Механическая обработка производится на ЧПУ станках, не объединенных общей системой управления. Автоматизированное управление производственным процессом не внедрено.

9.2 Defined На регулярной основе производится анализ загруженности ЧПУ станков. Разработана программа технического перевооружения и автоматизации производственных участков.

9.3 Managed Реализуется разработанная программа с целью создания единой среды управления производственными участками. Система MDC (Machine Data Collection) в опытной эксплуатации.

9.4 Integrated, Внедрены системы MDC, собирающие информацию о загрузке станочного парка компании для ее анализа главным технологом (СТО) компании. Проходят опытную эксплуатацию автоматизированные рабочие места (АРМ) на сборочных участках.

9.5 Optimized Сборочные места снабжены автоматизированными рабочими местами (АРМ). Мастерами участков используется трехмерный состав изделия и цифровое руководство по сборке оборудования, выводимые на АРМ и/или на очки дополненной реальности. Цех управляется из операторной с комплексным цифровым интерфейсом мониторинга исполнения сменно-суточных заданий. Операторы ЧПУ используют цифровые ассистенты технологических процессов. При наличии испытательного центра – SCADA система агрегирует информацию о результатах всех испытаний в корпоративный центр обработки данных (ЦОД). Для сборочных операций в опытной эксплуатации используются технологии дополненной реальности (AR). Сложные сборочные операции реализуются с помощью промышленных роботов.

Сегмент 10.

Производственная система.

10.1 Ad-Hoc, Компания не имеет производственной системы, не внедрены инструменты и методы бережливого производства. Низкая культура производства,

грязь и беспорядок в цехах.

10.2 Defined Разрабатывается производственная система и программа ее внедрения на предприятии. Разработан календарный график интеграции ключевых инструментов бережливого производства в производственный процесс. Обеспечена высокая культура производства.

10.3 Managed Внедряется производственная система с ключевыми технологиями бережливого производства. У специалистов компании формируется и накапливается опыт организации бережливого производства.

10.4 Integrated Работает производственная система предприятия с адаптированными технологиями бережливого производства. Внедрена большая часть инструментов из утвержденной производственной программы. В компании развивается и активно используется банк рационализаторских и инновационных предложений. Разработаны и используются при управлении предприятием потоки создания ценности продуктов компании.

10.5 Optimized Эффективно работают визуальный менеджмент, 5S, кайдзен, стандартизация операционных процессов, точно вовремя. Производятся анализ и оптимизация потока создания ценности. В цехах работают доски контроля исполнения производственной программы и коммуникационные центры. Работа производственной системы приносит определенные и вычисленные финансовые результаты компании.

Раздел 3. Управление и материально-техническое снабжение

Сегмент 11.

Цифровое управление логистикой.

11.1 Ad-Нос, Мониторинг перемещения оборудования с помощью GPS трекеров и онлайн интерфейса при реализации крупных проектов. Системы цифровой внутренней логистики нет.

11.2 Defined Разрабатывается программа повышения эффективности компании через использование цифровых технологий управ-

ления внешней и внутренней логистикой. Формируется пул партнеров. Анализируются лучшие международные практики цифрового управления логистикой.

11.3 Managed. Проект внедрения системы цифровой логистики предприятия управляется кроссфункциональной командой. Определены цели и задачи проекта, разработана структурная декомпозиция работ и календарный график. Система тестируется на опытном участке с цифровым управлением цепочки создания ценности для одного из продуктов компании.

11.4 Integrated, Управление потоками сырья, полуфабрикатов, материалов и готовой продукции через считывание штрих-кодов с передачей информации о маршруте в модули MES системы. Оптимизация маршрутов на основе анализа траекторий перемещения потоков материально-технических запасов предприятия.

11.5 Optimized Радиочастотная (RFID) идентификация сырья, материалов, компонентов сборочных единиц, готовой продукции. Внедрена и эффективно работает система автоматизации склада, Warehouse Management System (WMS). Управление временем такта через взаимодействие системы управления складом (Warehouse Manufacturing System, WMS) с MES и ERP системами. На складах обеспечена эффективная работа цифровых систем отбора материальных запасов со световой или голосовой индикацией («умные полки», pick-by-light, pick-by-voice). Компания управляет потоками материалов и продуктов филиалов через онлайн систему цифровой логистики, оптимизируя траектории перемещения грузов и объемы грузоперевозок. Технологические решения дополненной реальности (Augmented Reality, AR) – в опытной эксплуатации при комплектации внутренних сборочных заказов.

Сегмент 12.

Трансфер технологий.

12.1 Ad-Hoc, Работа в закрытом домашнем контуре, без поддержания внешних связей с международными партнерами.

12.2 Defined В производственном процессе используется иностранное оборудование, при пуско-наладке и сервисе обслуживаемое иностранными сервис-инженерами. Одновременно предприятие готовит собственных штатных сервис-инженеров. Организован поиск международного партнера для кооперации с целью развития производственных линий.

12.3 Managed Определен международный партнер и запущен первый совместный производственный проект. Рядом с предприятием, эксплуатирующим иностранное оборудование, открыт филиал целевой производственной компании, организующий сервис, реверс-инжиниринг, производство и поставку запасных частей для потребителя.

12.4 Integrated, Реализованы работы этапов 1-3 системы трансфера технологий (рисунок 18). Начат в рамках пилотного проекта трансфер ноу-хау, накопленного на третьей стадии зрелости, предприятиям-партнерам и преемникам технологий для развития совместных производственных линий и программ.

12.5 Optimized Создано несколько совместных предприятий с международными партнерами. Как одно из ключевых условий трансфера технологий проекты с международными партнерами сопровождаются оформлением и передачей прав на ноу-хау, патенты и другие результаты интеллектуальной деятельности. Как один из основных драйверов, утверждается стратегия капитализации компании путем интеграции в хозяйственный оборот нематериальных активов. Определены в долгосрочной перспективе партнерские роли в системе трансфера технологий: интегратор, носитель, преемник, инвестор, утвержден функционал этих ролей. В составе предприятий работают советники по производственным вопросам международных предприятий. В составе совета директоров

может работать независимый директор, имеющий опыт управления компанией-глобальным лидером аналогичной рыночной ниши.

Сегмент 13.

Кросс-отраслевая кооперация.

13.1 Ad-Hoc, Партнеров среди IT компаний и партнеров в других индустриях нет.

13.2 Defined Определены возможные партнеры. Подписаны, но пока не реализуются в совместных проектах соглашения о сотрудничестве с предприятиями других отраслей. Разрабатывается программа кооперации и определяется кооперационный эффект.

13.3 Managed Инициирован и реализуется пилотный проект кооперации. Оценивается эффект от результатов проекта кооперации на развитие компании и ее продуктовых линий.

13.4 Integrated, Сотрудничество с компаниями других отраслей обеспечило выпуск новых продуктов с новыми качественными характеристиками для потребителей.

13.5 Optimized Реализуются совместные проекты с IT компаниями, включая использование в проектах технологий Big Data, IIOT, Blockchain и реализации цифровой стратегии компании. Активно используются онлайн площадки обмена промышленными ресурсами (маркетплейсы), в том числе для поиска партнеров в кросс-отраслевой кооперации.

Сегмент 14.

Учебные производственные центры и партнерство с образовательными платформами.

14.1 Ad-Hoc, Нет своего учебного центра, нет заключенных договоров с колледжами, профессиональными училищами, высшими учебными заведениями, школами управления.

14.2 Defined Поддержка развития фаблаба/ЦМИТа в регионе, в котором компания нанимает и обучает молодых специалистов. Организована кооперация с образовательным центром цифрового производства для подготовки молодых специалистов. Руководители компании развили квалификации эффективного использования ключевых технологий циф-

рового производства в школах управления.

14.3 Managed Собственный учебный центр с основными средствами цифрового производства и методиками обучения работы с ними.

14.4 Integrated, Несколько собственных учебных центров и договоров о развитии молодых специалистов на базе ВУЗов/колледжей, центров производственного обучения и профессиональной ориентации. Развитие специалистов в условиях учебной фабрики (Lernfabriken, Training Factory). Развитие руководителей и проектов изменений компании в школах управления.

14.5 Optimized Компания развивает корпоративную академию, оснащенную всеми современными средствами производства и его организации и командой профессиональных тренеров. В компании работают участники чемпионатов WorldSkills и сертифицированные по международным стандартам инженеры. Персонал компании проходит непрерывное повышение квалификации, в том числе международные стажировки и обучающие программы.

Сегмент 15.

Управление проектами.

15.1 Ad-Hoc, Технологии, системы и инструменты управления проектами (УП) используются только для крупных проектов, без выделения в организационной структуре предприятия проектного офиса, разработки регламентов и документированных процедур. Системный подход в управлении проектами отсутствует. Отчетность по исполнению проектов реализуется без связи с базовыми планами по субъективным признакам.

15.2 Defined Появляется разрозненная документация, описывающая управление проектами, нет единого стандарта по УП. Мониторинг исполнения проектов осуществляется на основе базовых планов. Появляются простые метрики и индикаторы эффективности управления проектами.

15.3 Managed Используется система регламентирующей документации, описывающая процессы управления проектами. Управ-

ление портфелем проектов происходит по метрикам и индикаторам. Осуществляется управление связями проектов.

15.4 Integrated, Работает аналитика эффективности управления проектами для отдельных проектов и команд. На основе метрик осуществляется оперативное управление и определение процессов для принятия управленческих действий. Обеспечена приоритизация портфеля проектов по стратегическим и операционным целям компании.

15.5 Optimized Внедрена корпоративная система управления проектами, эффективно (через прямую, четко определенную связь с финансовой результативностью проектов) работает офис управления проектами. Проектный офис регулярно анализирует и совершенствует методологию УП. Активно работают банки данных лучших практик и извлеченных уроков. Ведется координация управления портфелем проектов для достижения стратегических целей компании.

Многие российские компании и производственные холдинги уже поднялись по вышеописанным ступеням к обеспечению конкурентоспособности продуктов глобальным лидерам. Другим еще предстоит такая работа. В то же время международные глобальные корпорации, обеспечив выход домашних компаний на пятый уровень (optimized) по большинству направлений, воспользовавшись ключевыми технологиями цифрового производства, обеспечили тем самым возможности тиражирования своего бизнеса для развития глобальной производственной сети. Такие возможности тиражирования бизнеса возникают только при формализации и цифровизации бизнес-процессов по ключевым направлениям, создания информационных банков накопленных знаний компаний (corporate books of knowledge) и эффективной работы системы управления, с помощью которой компания развивает дочерние компании на международных рынках.

Предлагается определять место компании при сравнении со средними рыночными маркерами и ставить цели развития в программах модернизации с помощью оценки по вышеописанным критериям (ри-

сунок 19). Наиболее точная и аккуратная оценка при этом будет получена при участии в бенчмаркинге отраслевых экспертов и компаний, имеющих максимальный опыт работы с технологиями и системами нового технологического уклада.

На основании диагностики формируется стратегия развития цифрового производства в компании, создается портфель внутренних проектов, собираются команды управления этими проектами. Реализация пилотных проектов происходит в корпоративном инновационном центре в соответствующей экосистеме.

Одна из основных целей предлагаемого подхода – создать живую и развивающуюся информационную платформу компании, агрегирующую лучшие предпринимательские, технологические и производственные практики.

Ключевое условие эффективности такой платформы – ее развитие и дополнение по мере развития производственных технологий и накопления опыта их использования. Эффективны возможности обновления плат-

формы ежеквартальными релизами через краудсорсинг распределенной сетью инженерных, технологических и производственных экспертов. Благодаря работе такой системы станет возможным динамическое определение позиции предприятия в совокупности технологий и систем нового промышленного уклада, бенчмаркинг предприятия через визуализацию степени зрелости и развития компании, а также выбор траектории развития компании в специально спроектированной образовательной программе для управленческих команд предприятий, технологических предпринимателей и технологических руководителей (СТО) компаний.

Получив возможность произвести комплексную оценку предприятия по описанной выше системе метрик и опросному листу, приведенному в приложении 1, делаем следующие выводы:

1. Использование моделей оценки зрелости (maturity models) в качестве инструмента оценки степени развития предприятия

Рисунок 18. Система трансфера технологий, действия и роли участников на каждом из этапов



ЧЕК-ЛИСТ ДЕЙСТВИЙ

Провести комплексную оценку цифровой зрелости компании, самостоятельно или с экспертами.

Разработать план и календарный график цифровой трансформации.

Обеспечить обучение руководителей и специалистов по направлениям цифровой трансформации в компании, в университетах, в школах управления.

Сформировать портфель проектов цифровой трансформации компании.

Определить цели, задачи, сроки реализации проектов, команды управления проектами.

Реализовать проекты цифровой трансформации, обеспечить переход компании на следующий уровень цифровой зрелости

Глава 4

Пространство корпоративной инновационной СИСТЕМЫ



«Дни компаний с названиями «General Electric», «General Mills» и «General Motors» сочтены. Деньги на столе как криль: миллиард крошечных предпринимательских инициатив, которые могут быть открыты и использованы умными, творческими людьми. Добро пожаловать в новую индустриальную реальность»

Кори Доктороу и Крис Андерсон
«Созидатели: новая индустриальная революция»

Резюме главы:

Для развития корпоративной инновационной системы компании важно развивать принципы и ресурсы, на которые опираются инновационные процессы в компании.

Четыре принципа: глобальность, открытость, партнерство предпринимателей, сетевая организация.

Четыре ключевых ресурса: свободные люди, свободные денежные фонды, свободные мощности, свободные знания.

Процесс создания нового не может жить по законам устоявшихся бизнес-процессов. Новое - зона поиска, зона неопределенности, риска, проб и ошибок, и потому создание нового работает по другим правилам. Создавать и активно развивать пространство: нормативное, цифровое, физическое, идеологическое, организационное, в котором могут работать стартапы, инновационные инициативы, быстрые исследовательские центры, поисковые лаборатории, малые инновационные группы, технологические спин-оффы – цели для компаний сегодня.

По итогам нашей многолетней работы, включая рабочие поездки с участниками программы «Росатом: управление технологическими инновациями» по европейским инновационным центрам (Гренобль, Дельфт, Эйндховен, Ахен и т.п.), а также работы на крупнейших международных предприятиях («Сименс» в «Германии» и США, Термомеханика в Италии, Эбара в Японии) мы разработали требования к организациям, которые определяют цели запуска инновационного процесса. Корпорации сегодня решают общую задачу: как выжить в конкуренции с быстрыми, гибкими и чуткими относительно требований рынка молодыми инновационными компаниями, ежегодно обновляющими свои продуктовые линейки. В этой связи реализация проекта организации корпоративной инновационной системы очень важна для выживаемости и развития компаний.

В работе [38] подчеркнута важность эффективного владения организацией концепции организационной амбидекстрии как совокупности способностей компании быть одновременно гибкой и эффективной. Компании-амбидекстры способны быть одновременно эффективными, гибкими, быстрыми (качества стартапа) при сохранении операционной эффективности и высокой производительности (качества корпорации, рисунок 20). Развитие корпоративной инновационной системы дает возможность компаниям использовать качества развития стартапов при сохранении преимуществ и ключевых положительных качеств корпораций.

Мы определили четыре принципа, которые задают требования к организованности корпоративной инновационной системы и четыре ключевых ресурса, на которые опирается инновационный процесс.

Ключевые принципы и горизонты корпоративной инновационной системы

1. Глобальность.

Означает не столько географический масштаб, сколько отношение к фронтиру идей и разработок. Организация только тогда может считать себя инновационной, когда она в своей деятельности решает проблемы, которые до нее еще никто в мире не решал. Это не обязательно может быть проблема жизни и смерти, это может быть локальная техническая проблема, но не решенная на данный момент никем, кто этой темой занимается.

Либо наоборот, организация работает над значимой в своей области проблемой, которая уже решена, но способ решения неэффективен, и, следовательно, ищет возможность решить проблему принципиально другим способом, и таким, который в мире еще никто не применяет.

Еще один смысл принципа глобальности - возможность использовать для организации деятельности ресурсы со всего мира: размещение производства в Китае, заказ на технологическое сопровождение в России, дизайн в Бразилии и т.д.

Следующее понимание глобальности в отношении к рынкам сбыта: продукт принципиально производится по актуальным стандартам, принятым в ключевых центрах рынков сбыта. Инновацион-

Рисунок 20. Компании-амбидекстры, объединяющие качества развития корпораций и стартапов, сегодня наиболее эффективны

РАЦИОНАЛЬНАЯ ЧАСТЬ БИЗНЕСА

корпорации

Производительность

Дисциплина

Регламентация бизнес-процессов

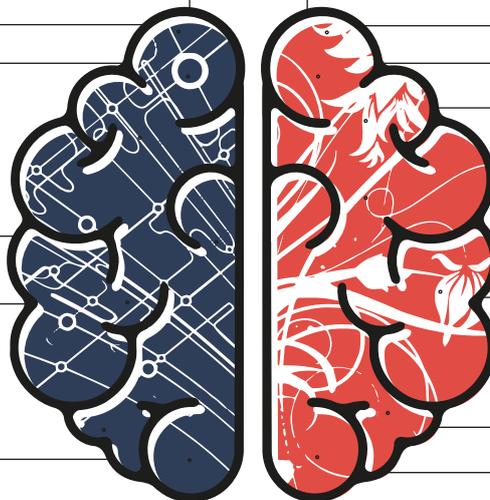
Очень медленные и инертные

Наказывающие за ошибки

Сосредоточенные на серийном производстве и с трудом создающие новые продукты

С жесткой организационной структурой и иерархией

качества развития



ЧУВСТВЕННАЯ ЧАСТЬ БИЗНЕСА

стартапы

Инновационность

Скорость

Гибкость

Чувствительность к запросам клиента и рынка

Гибкая сетевая организационная структура или ее отсутствие

Хаотичные в операционной деятельности

Затратные

качества деструкции

ная организация делает свой продукт таковым, чтобы его стремилась приобрести в любой точке мира максимальная часть целевой группы.

Что нужно уметь делать для развития принципа глобальности:

- включаться в работу на международных площадках, на которых формируется будущее индустрии;
- самим инициировать создание таких площадок и быть их куратором;
- иметь поисковую исследовательскую группу, которая держит технологический фронт и следит за новыми проектами и результатами в индустрии;
- развивать партнерство с ведущими центрами производства знаний: университетские лаборатории, группы в R&D центрах по всему миру, сотрудничество с бизнес-школами и исследовательскими центрами в них;
- включаться и работать в международных технологических консорциумах.

2. Открытость.

Означает, что организация, которая считает себя инновационной, должна уметь работать с внешними агентами, не входящими в ее контур, должна использовать ресурсы сети партнеров, для решения своих проблем, должна иметь повестку для внешнего круга специалистов. Должна уметь формировать сообщество вокруг проблематики, над которой сама работает. Это тесно связано с принципом «глобальности», поскольку только наличие такого класса проблем позволит привлечь к себе качественный интеллектуальный потенциал из разных уголков мира. Работа на принципах краудсорсинга и открытых платформ - требование к инновационной организации. Компания Phillips набралась смелости и сняла забор с колючей проволокой вокруг своей площадки в Эйндховене. Менеджеры делились опытом: это была жесткая дискуссия, но компания пошла на этот шаг и создала вокруг заводоуправления Open Campus, современное пространство, в котором мог-

ли совместно работать менеджеры корпорации и небольшие технологические компании, создавая совместные решения на пользу базовому производству и продукты для новых рынков. Некоторые вендоры для поддержки ускорения диффузии технологий [39] выпускают open source платформы. Пример – стереолитографический принтер Ember от Autodesk – с открытой аппаратной, электронной документацией и формулой фотополимера. Такой открытый подход по замыслу корпорации Autodesk будет стимулировать продажи программного обеспечения PLM, основного продукта компании.

Что нужно уметь делать для развития принципа «открытость»:

- формировать открытые запросы и развивать площадку для их позиционирования;
- организовать пространство совместной работы руководителей и технологических предпринимателей;
- создать и поддерживать цифровую платформу по всем ключевым процессам компании с возможностью подключаться к ней сторонним игрокам.

3. Партнёрство предпринимателей.

Означает, что организация, создающая себя по инновационным принципам, должна инициировать развитие интрепренерства (внутреннего предпринимательства) и антрепренерства (предпринимательства, направленного на внешние рынки). Это означает способность организации выделять из своей организационной структуры стартапы и спин-оффы, которые производят важные для компании решения и изделия. Такие действия позволяют компании сохранять предпринимательскую энергию, которой подпитываются инновационные процессы. Этот принцип так же связан с предыдущим принципом открытости, поскольку помимо выделения из себя стартапов и спин-оффов, компания должна уметь приобретать и стимулировать команды и организации, находящиеся вне ее организа-

ционного контура, но являющиеся важным ресурсом развития. Современные крупные компании, выстраивающие инновационный контур деятельности, стараются организовать себя как кластер, из множества мелких компаний. В этом кластере постоянно идет процесс их порождения, интеграции внутри компании, выделения компетенции, приобретения небольших, но интересных, с точки зрения решений компаний, слияния и создания цепочек кооперации. Компании на постоянной основе ведут разведку и привлечение малых инновационных компаний (scouting) для совместной работы или интеграции в свой контур, включая постоянный поиск и создание условий для новых инициатив и возможностей новых продуктов. Так, например, для организации предпринимательской кооперации Samsung и GE бесплатно предоставили малым инновационным компаниям инструменты и платформы разработки. Samsung в 2016 году – ARTIK, платформу разработки для приложений интернета вещей. GE в 2015 – открытую платформу Chillhub на RaspberryPi и Ubuntu. Корпорации, реализуя функционал корпоративных инновационных систем формирования пакетов разработки с открытыми API и инструментальных наборов для стартапов, активно ускоряют развитие технологий через созидательное разрушение, кооперируясь с малыми инновационными компаниями.

Что нужно уметь делать с принципом кооперации предпринимателей:

- создать корпоративный акселератор технологических проектов;
- создать условия для создания на базе имеющихся технологий новых бизнесов;
- создать инкубатор/лабораторию новых компетенций компании;
- создать центр компетенций по оценке возможностей и покупке новых компаний;
- создавать междивизиональные предпринимательские команды, зарабатывающие на создании ценности для базовых бизнес процессов.

4. Сетевой принцип организации.

Большинство организаций в системе управления придерживаются принципа иерархии. Для инновационного процесса любая иерархия – ограничение в развитии. Иерархия организована по принципу вертикальной ответственности: те, кто находятся наверху иерархии отвечают за все. Те, кто внизу, ответственны за малую часть в рамках отведенного функционального «загончика». В итоге в иерархии нет времени на инновации, поскольку, в лучшем случае, «верхи» под грузом ответственности заняты постоянным контролем, «низы» постоянным исполнением.

Между тем, развитое человеческое мышление не может быть ограничено выполнением отдельной функции и не способно включаться, когда оперативная память загружена контролем исполнения поручений. Оно жаждет объекта применения, нерешенной задачи, интересной проблемы. И если такового не получает, креативная «мышца» атрофируется, нейроны умирают.

В противовес иерархии вводится сетевой принцип организации, который создает условия для того, чтобы каждый ее участник имел возможность решать и работать практически с любыми проблемами и задачами, как в рамках своего функционала, так и за его пределами. Сетевая организация построена на принципах равного доступа всех участников к информации, и горизонтальной коммуникации по ключевым вопросам. Таким образом организация развивает коллективное креативное мышление и дает возможность мыслящему организму рефлексировать и работать с самим собой, развиваясь и исследуя новые горизонты. Под эту задачу создаются внутренние ресурсы командной работы (crowd resources) типа. Проводятся проектные и креативные сессии, где каждый участник имеет возможность высказываться на равных с руководителем в процессе обсуждения проблемы, либо задачи.

Что нужно уметь делать для развития сетевых организационных форм:

- создавать форматы междивизиональной сетевой коммуникации: проектные сессии, стратегические сессии, форсайты;
- ввести регламент инновационной группы и определить место и время под её работу;
- разработать и внедрить электронную платформу инновационной коммуникации и совместной работы, внутренний маркетплейс и репозиторий.

Четыре ключевых ресурса Корпоративной Инновационной системы

1. Свободные люди.

Стандартная организация построена по принципу полной нагрузки на человека в течение рабочего времени, для исполнения функции, на которую он нанят. В этом смысле в стандартной организации человек занят все свое время. С учетом, того, что организации, как правило, пребывают в состоянии кризиса и управляются с помощью технологий «героического менеджмента», рабочий день у исполнителей и руководителей становится ненормированным.

Инновационная деятельность, по определению инновационности, выпадает из базового функционала. То есть она не прописана ни в каких регламентах и инструкциях, следовательно, у человека должно быть время на то, чтобы ей заниматься. Именно в этом смысле, ключевой ресурс организации - свободные люди, т.е. люди у которых есть время заниматься новым. Человек, вступающий на путь инноватора, должен понимать, что он тем самым создает ценность для компании, и это же должна понимать организация, создавая условия для появления таких людей. Например, Google выделяет нормативно 20% рабочего времени сотрудника на работу над собственным проектом. Безусловно в таком подходе есть риски, но без него - риск отстать от развития и пойти по пути «Kodak» (главный пугающий кейс апологетов развития компании).

Во второй половине прошлого века Eastman Kodak Company была первой в бизнесе фототехники по многим направлениям. В 1976 году Kodak занимал 90% рынка фотопленки и 85% рынка фотоаппаратов в США. Еще в 1975 году инженеры Kodak изобрели цифровую фотокамеру. Но руководство компании, не желая отказываться от огромного рынка фотопленки, проигнорировало их проект.

Аналитики компании прогнозировали наступление цифровой революции, но просчитались в сроках, ошибочно отложив ее наступление на 10 лет. Когда Kodak выбрал верную цифровую стратегию, он опоздал - конкурентов уже было не догнать. В начале 2012 года Kodak признал себя банкротом. Важно не только принимать решения, но и делать это вовремя. Не вовремя принятые решения стоят очень дорого.

Что нужно уметь делать:

- легализовать и формально закрепить рабочее время на поисковую инновационную и исследовательскую деятельность сотрудников;
- создавать малые междисциплинарные и кроссфункциональные инновационные команды, в которые могут включаться сотрудники без риска потери рабочего места;
- определить и зафиксировать в корпоративных положениях мотивацию от созданной ценности для компании. Например, процент от экономии за счет инновационного решения становится грантом инновационной команды;
- обеспечивать для стартапов творческий отпуск, то есть позволять сотруднику выходить в проект без порицаний и наказаний.

2. Свободные деньги.

Свободные деньги - это деньги, освобожденные от необходимости обеспечивать базовый производственный процесс. Как и в ситуации с людьми у организации «лишних» денег нет. Те деньги, которые определены как «инвестиционные», обычно живут по правилам обязательного и доказанного возврата на инвестиции.

Инновации - всегда риск. И, следовательно, не может быть ничего до конца доказанного. Стало быть, и деньги, которые на них выделяются, должны жить по другим правилам возвратности. Они должны работать по правилам венчурных фондов. Свободные деньги - это деньги, освобожденные от тех обязательств, которые наложены на их обращение в базовом рабочем процессе.

Так же свободными деньгами можно считать, те деньги, которые привлекаются не из бюджета организации, либо крупных инвестиционных фондов, но деньги, собранные по принципу краудфандинга и мелкого, «ангельского» инвестирования. При этом инвесторами проекта становятся сами сотрудники и близкие им люди.

Что нужно уметь делать:

- создавать и развивать корпоративные венчурные фонды;
- создавать платформы корпоративного краудсорсинга и внутренние маркетплейсы;
- развивать партнерства с институтами, финансирующими инновационные проекты;
- создать нормативную базу, регулиующую инновационные инвестиции;
- создать механизм оценки инновационного проекта не по продукту, а по созданному ресурсу для развития компетен-

ций (команда, ноу-хау, исследование и аналитика, сеть партнерств, оборудование и т.д.)

3. Свободные мощности.

Как и в предыдущих двух случаях, речь идет о производственных мощностях, освобожденных от базового процесса специально под задачи развития, и производства инновационных решений. Содержание таких мощностей и требования к их устройству и оснащенности, не совпадают с требованиями к мощностям, задействованным в базовом процессе (например, по равномерности загрузки, или количеству выпускаемой продукции). В инновационном процессе мощности необходимы под производство прототипов и образцов, опытных партий. Анализ инновационных лабораторий, корпоративных акселераторов, стартап подразделений и корпоративных исследовательских центров, открытых крупными компаниями в 2013-2017 годах для развития инновационных продуктов с помощью свободных площадей и активов, приведен в таблице 1: «Новое поколение корпоративных инновационных лабораторий» (<https://goo.gl/YDKeaQ>).

Помимо станков для производства, инновационная деятельность требует также исследовательского оборудования, которое должно позволять производить испытания, необходимые для создания продукта. Такое оборудование также должно быть доступно для экспериментов и исследовательской работы.

И в завершение - самое важное. Инновационная деятельность, в основе своей, состоит из коммуникации по поводу замысливания, генерации идей. Такая коммуникация также отличается от стандартных совещаний, на которых, как правило, обсуждаются уже принятые решения. Для творческой коммуникации необходимы пространство для дискуссии и обмена идеями. Что приводит к необходимости специальной организации про-

странства и его оснащения (open space, интерактивные доски, стены на которых можно проектировать, писать и рисовать, удобная мобильная мебель и т.д.) Такого рода коммуникации не могут происходить бесформенно. В этой связи необходима разработка форматов организации такой коммуникации и специальная модерация коллективной мыслительной деятельности для получения максимального результата.

Что нужно уметь делать:

- создавать центры коллективного пользования: коворкинги, фаблабы, мэйкерспейсы (см. таблицу «Новое поколение корпоративных инновационных лабораторий»);
- иметь платформу, на которой представлено все доступное технологическое оборудование, свободное время его использования и условия доступа;
- иметь сеть партнеров по представлению оборудования для экспериментов, производства прототипов и малых партий

4. Свободные знания.

Здесь мы имеем ввиду прежде всего особенности организационного развития, при которых внутри больших корпораций каждое бизнес подразделение и, часто, каждая организационная структура в попытке доказать свою уникальность, ограничивает доступ к знаниям внутри компании. Мы не говорим о внешних партнерах, для которых компания, с точки зрения знаний и их доступности - черный ящик. Часто приходится слышать истории об уникальных знаниях, таящихся на дальних полках КБ и НИИ, которые никак нельзя раскрыть, поскольку «украдут и все используют сами». Легенды об уникальных и неповторимых процессах на производствах, для которых нужны специалисты с двадцатилетним стажем, спо-

собные, к примеру, по пушистости искры определить кислотность чугуна. Такие истории на поверку отказываются корпоративными мифами. В нашем опыте был кейс, когда коллеги пробовали создать платформу обмена знаниями на экспертной основе и столкнулись с отчаянным сопротивлением коллектива компании. Эксперты просто игнорировали процесс, а иногда участники рабочей группы сталкивались с прямыми угрозами: «Шли бы вы со своей стандартизацией и открытостью, пока хуже не стало».

Если в организации нет единой и открытой для внутреннего и внешнего пользователя базы знаний (books of knowledge) о процессах, используемых решениях, технологиях, проблемах и ограничениях, никакого инновационного процесса в ней быть не может. Конечно открытость означает, что тот, кто смог превратить знание в продукт/ценность снимает основную дельту прибыли, но в этом и смысл, и основной источник мотивации инноватора - получить прибыль от той ценности, которая была создана с использованием его инструмента.

Что нужно уметь делать:

- иметь открытую для компании базу знаний технологий, существующих в компании, и экспертную сеть её обновления с правилами и условиями доступа к знаниям в том числе, при необходимости, и внешних участников;
- формализовать условия получения вознаграждения за использование результатов интеллектуальной деятельности (РИД) в инновационном проекте;
- создавать исследовательские центры, ориентированные на производство знаний под рыночный заказ;
- развивать цифровой двойник компании, как платформу совместной работы всех под-

разделений компании и её поставщиков.

Резюмируя, вернемся еще раз к базовому тезису: процесс создания нового не может жить по законам устоявшихся бизнес-процессов. Хотите закрыть инновационный проект - поручите его исполнение существующему подразделению, которое, скорее всего, перегружено задачами, и возиться с новым и непонятным проектом не станет. Скорее всего сотрудники этого подразделения приложат все усилия, чтобы доказать, что у этого проекта нет будущего. Новое - зона поиска, зона неопределенности, риска, проб и ошибок, и потому создание нового работает по другим правилам.

Создавать и активно развивать пространство: нормативное, цифровое, физическое, идеологическое, организационное, в котором могут работать стартапы, быстрые исследовательские центры, поисковые лаборатории, малые инновационные группы, технологические спин-оффы - вот задача любой компании, которая не для галочки, а всерьёз стремится получить результаты от инноваций.

ЧЕК-ЛИСТ ДЕЙСТВИЙ

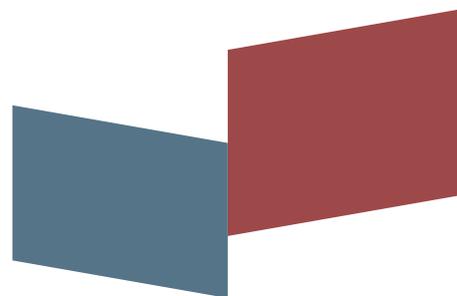
Проверить наличие и эффективность работы принципов и ресурсов корпоративной инновационной системы.

Обеспечить декомпозицию и анализ основных бизнес-процессов компании, включая жизненный цикл продуктов и сервисов и цепочку поставок. Произвести анализ ограничений и неэффективностей в компонентах бизнес-процессов.

Проанализировать предметную область, действия, результативность стартапов и малых инновационных компаний по направлениям предметной области компании.

Организовать или выступить партнером в организации мобилизатора – хакспейса, мэйнкерспейса, инновационной лаборатории, корпоративного инновационного центра. Организовать условия развития малых инновационных компаний в мобилизаторах.

Обеспечить рост эффективности бизнес процессов через работу корпоративной инновационной системы



Глава 5

Мобилизаторы: основа цифровой ЭКОНОМИКИ

Центры прототипирования продуктов, платформы моделирования бизнес-процесов и открытые контрактные производства

«Японские корпорации перестали быть инновационными еще с 1980-х годов.

Они не делают великих открытий, не создают по-настоящему революционных устройств, не меняют мир. Этим занимаются их сотрудники в свободное от работы время. И так не только в Японии, хотя там это заметнее всего. Во всем мире инновационные важные изобретения создаются маленькими группами технических энтузиастов.

Корпорации могут только вовремя их заметить и купить».
Дэйл Доэрти

Резюме главы:

Для прототипирования продуктов и моделирования бизнес-процессов современных предприятий создаются и активно работают специальные пространства – мобилизаторы. Они – основа новой цифровой экономики. В настоящей главе систематизирован опыт работы в мобилизаторах Кремниевой долины (США) и Европейского центра трансформации Индустрии 4.0 (Германия).

Интеграция в производственные процессы современных методов цифровой экономики, цифрового производства, Индустрии 4.0 сегодня реализуется через специально спроектированные образовательные программы. Образовательные программы для руководителей предприятий и отраслей приносят результаты по всем функциональным направлениям бизнес-процессов в пространствах-мобилизаторах: от проектирования новых продуктов с помощью методологии Scrum до сервиса оборудования с помощью дополненной реальности.

При помощи систем и технологий нового технологического уклада руководители изучают, как на предприятиях повышать производительность труда, производить продукты качественнее и развивать компании быстрее. Благодаря мобилизаторам и образовательным программам эти возможности достаточно быстро начинают приносить результаты как ключевые драйверы развития национальной экономики.

Открытые контрактные производственные компании развиваются через работу бизнес-моделей взаимного дополнения их ресурсами их же возможностей в экосистемах технологического предпринимательства.

Из-за отсутствия гибкости и высоких рисков, которые несет экспоненциально развивающаяся внешняя среда, традиционные процессы развития компании все больше и быстрее теряют эффективность. Поэтому компаниям сегодня, как никогда ранее, необходимы подходы быстрой разработки прототипов продуктов и моделей процессов, с конкретными результатами всех этапов работ, постоянной обратной связью и обменом информацией с проектными командами и заинтересованными лицами.

Один из принципов гибкого и быстрого создания продуктов заключается в не-

обходимости как можно раньше проверять предположения и гипотезы о функционале продуктов или об эффективности бизнес-процессов, помимо виртуального эксперимента и компьютерного моделирования, в реальной среде.

Для этого востребованы, помимо виртуальных, реальные заводы-прототипы, заводы моделирующие пространства, заводы-учебные пространства - прежде всего для руководителей. Один из таких заводов расположен в Германии, в городе Ахене, в центре Европы, в одном из крупнейших исследовательских пространств центра Европы.

Сегодня компаниям важно развиваться и трансформироваться через реальные практики и кейсы, в экосистеме, позволяющей прототипировать, быстро и дешево пробовать, ошибаться, накапливать и систематизировать интеллектуальный капитал.

В случае технологического кластера в Ахене - реальный кейс - это революционный электромобиль e.Go, еще один разрушитель экономики автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, продукт, который требует быстрых изменений от всех классических автопроизводителей. Центр прототипирования продуктов и моделирования бизнес-процессов - цех Европейского центра трансформации Индустрии 4.0 (E4TC). Цех - это полноценное производство со станком плазменной резки, сварочным участком, складским хозяйством, сборочным участком, цифровой системой управления производством и более чем сотней технологий Индустрии 4.0, которые могут использовать для моделирования решения своих задач руководители предприятий Европы.

На каждом из участков цеха скрупулезно и интенсивно совершенствуются компоненты и системы нового технологического уклада. Отрабатывается в специально спроектированных образовательных программах управление предприятием с использованием данных от всего жизненного цикла, а также отдельные операции - цифровая логистика, дополненная реальность в сборочных и сервисных операциях, синхронный контроль качества через операции сканирования сварных рам автомобилей с помощью контрольных измерительных машин, цифровое управление инфраструктурой и инженерными коммуникациями цеха.

Кроме того, на действующем производстве в соседнем цеху инженеры, технологи и руководители работают над производством аккумуляторов для электромобиля, детально и глубоко анализируя этапы и операции производственного цикла. Задача руководителя при этом - создать бесшовную связь

между информационными и операционными технологиями (IT+OT) с различными интеграционными подходами. Для этого в Ахене был создан консорциум, который объединил возможности производителя аппаратного обеспечения (National Instruments) в оборудовании, вендора программного обеспечения (PTC) в программной автоматизации жизненного цикла продукта, дополненной реальности и интернета вещей, производителя инфраструктурного программного обеспечения (OSIsoft), производителя серверной архитектуры (HP).

Для эффективной работы системы управления производством, созданной участниками консорциума, жизненный цикл производства аккумуляторов электромобилей был разделен на 15 стадий. Для каждой из стадий сейчас тестируются лучшие практики цифрового производства: управление и мониторинг условиями процессов (conditioning monitoring), машинное обучение (machine learning), управление энергоэффективностью (energy management), автоматический контроль качества (anomaly detection), сервис с дополненной реальностью (augmented reality maintenance), отслеживание перемещения сырья и материалов (asset track and trace) и другие технологии.

Цель цифровой трансформации и работы центра состоит в том, чтобы создать постоянно развивающиеся, гибкие компании, готовые непрерывно адаптироваться к меняющимся условиям за счет соответствующих технологий, организационного обучения и создания системы принятия решений с использованием данных от жизненного цикла производства, цепочки поставок, средств и систем производства, всех бизнес-процессов. Как это хорошо видно в E4TC в Ахене - один из критериев эффективности трансформации - обеспечение высокого качества данных от всех бизнес-процессов и доступность данных в более короткие сроки.

Для ускорения цифровой трансформации сегодня также активно создаются и рас-

пространяются пространства-мобилизаторы, которые развивают творческую энергию предпринимателей и помогают преобразовать ее в проекты, значительно изменяющие все вокруг. Мобилизаторы наследуют функционал и культуру стартап-акселераторов, в которых когда-то создавались платформы и приложения. Задача мобилизаторов сегодня - трансформировать все индустрии через образование и развитие стартап-команд. Это мейкерспейсы (makerspaces), хакспейсы (hackspaces), инкубаторы, фаблабы, техшопы, акселераторы, инкубаторы, инновационные лаборатории, корпоративные центры инноваций и коворкинги.

Компаний, которые можно назвать мобилизаторами инноваций (innovation enablers), в США сегодня более 500.

Два актуальных примера - мобилизаторы bioCurious и Powerhouse. Первый за 100 долларов в месяц или 1000 долларов в год дает всем желающим оборудование, материалы лаборатории и курсы для людей с интересами в биотехнологиях. Один из самых интересных проектов, развиваемых в bioCurious - 3D принтеры, печатающие биологическими материалами. Организация полностью управляется волонтерами.

В Powerhouse развивают проекты солнечной энергетики. В 2016 в акселераторе работали 40 стартапов и сотни предпринимателей. Два актуальных успешных выхода - Powerhive с проектами программного и аппаратного обеспечения для энергетических сетей, поднявший \$20m и Mosaic, основной провайдер займов для установки солнечных панелей, закрывший инвестиционный раунд в \$220m. В 2015 стартапы Powerhouse участвовали во вводе в эксплуатацию 156 МВт солнечной энергии.

Техшопы - еще один пример развивающихся форматов цифрового производства. Сегодня в мире работают 11 техшопов, которые посещают более 10 000 человек. 8 находятся в США, по одному во Франции, Японии и ОАЭ. Выручка сети в 2015 году составила 14 миллионов долларов.

В Калифорнии три техшопа - в Сан-

Франциско, Сан-Хосе и на полпути между ними в Рэдвуд Сити. Техшоп в Сан-Хосе - это 12 цехов: Laser Studio, 3D Studio, Machine Shop, Hot Shop, Plastics Area, Grinding Room, Finishing Room, Electronics Lab, Metal Shop, Wood Shop, Textiles Area, Garage Area. Сотни видов оборудования в них - гидроабразивный станок, плазморезки, 15-тонный пресс, лазерные граверы и резаки, 3D принтеры, швейные машины. Самый высокий спрос на лазерные резаки, иногда их надо бронировать заранее и ждать очереди. Много компьютеров с программным обеспечением CAD/CAM. В каждый техшоп вложено более миллиона долларов в станки и инструменты, технологии и оборудование. Техшопы открыты для всех и работают с раннего утра до полуночи.

Техшоп в Сан-Хосе работает с 2006 года. В бизнес-модели предусмотрено все необходимое для того, чтобы реализовать любые идеи, включая цифровую систему управления для задуманных проектов. Тех, кто не имеет опыта в производстве - увлекательно научат, а тем, кто опытен, предложат помощь в проектировании и экспериментах. За 120 долларов и несколько вечеров новичков здесь научат, к примеру, сварке.

В техшопах каждый день проводятся 5-10 групповых занятий для взрослых и детей. Среди них такие курсы, как производство из композитов, проектирование и изготовление мебели на фрезерных ЧПУ, красивая вышивка с помощью ЧПУ швейных машин и многие другие. Годовой абонемент в техшоп стоит 1650 долларов в год, принцип работы очень схож с фитнес-клубами: владельцам клубной карты доступно всё оборудование для материализации своих идей.

Поздними субботними вечерами в цехах техшопов паяют, прототипируют, программируют. Команды преподавателей и членов клуба увлеченно работают над проектированием автономных автомобилей. Девушки учатся шить с помощью швейных машин с числовым программным управлением.

Основные общие качества мобилизаторов – активное сообщество, доступность и открытость, комплексная инфраструктура.

Сообщество.

Вокруг собирается сообщество пассивных энтузиастов, которые с удовольствием работают с оборудованием и решают задачи своих проектов. Предприниматели, студенты, производственники, изобретатели, инвесторы – все они включаются в экосистему, с помощью которой проектам, находящимся в самой ранней стадии развития, зачастую удается трансформироваться в бизнес с ощутимым возвратом на инвестиции. Мобилизаторы часто проводят мероприятия (отслеживать и записываться на них можно на eventbrite.com и meetup.com), на которых люди разных сообществ встречаются и обсуждают проекты, новые идеи, развивают отношения.

Доступность.

Мобилизаторы, как правило, расположены в центре городов с расчетом на то, что проходящие мимо могут в них зайти даже поздно вечером. Участники программ техшопов – зачастую люди, обладающие нулевыми знаниями в производстве, дизайне или программировании. В 2016 году один из техшопов в Рэдвуде запустил мобильный проект вместе с компанией Fujitsu. Проект назвали Techshop inside, он представляет собой мобильную мастерскую для обучения STEAM (science, technology, engineering, arts, math) в тех городских районах города, жители которых не имеют доступа к современному техническому образованию.

Инфраструктура.

Команда, оборудование, программное обеспечение, образовательные программы – все самое необходимое для того, чтобы превратить свою задумку в первый

прототип, в MVP (Minimum Viable Product), пройти через валидацию гипотез и вывести продукт на краудфандинговую площадку. Должности помощников в командах техшопов – «dream consultant» – консультант по материализации мечты. Их ключевые показатели эффективности – помочь вам с реализацией вашей идеи.

Творческие производственные образовательные пространства – одно из ключевых условий развития стартапов и молодых компаний. Мобилизаторы произошли от своих предков, стартап-акселераторов, в которых годы назад создавались приложения, которыми мы все сегодня пользуемся: Dropbox, Airbnb и другие. Сегодня уже тысячи молодых людей в подобных мобилизационных пространствах создают не только программное обеспечение, они трансформируют все индустрии. Через несколько лет мы заглянем в свои производственные цеха, посмотрим на свои логистические маршруты и найдем в них море киберфизических продуктов компаний, вышедших из мобилизаторов Кремниевой Долины и других стран.

Сегодня в мире работают мобилизаторы и образовательные пространства нового поколения для каждой отрасли. Тысячи молодых предпринимателей, работающих в каждом из подобных пространств, «едят завтраки» крупных корпораций. Эти новаторы целятся в корпоративную неэффективность на каждом из этапов жизненного цикла продуктов, создают вокруг этой неэффективности решение, привлекают инвестиции, относительно быстро развивают его в компанию с уникальным продуктом, выходят на IPO или продают той же корпорации, в которую изначально целились. И далее по кругу. В мире запущен глобальный механизм, разрушающий старые неэффективные отрасли и целые экономики, – механизм, рождающий проекты, которые убивают Кодак и Нокии наших дней. Трансформация отраслей ускоряется по экспоненте.

Культура современного цифрового производства активно проникает в повседневную жизнь: книги и журналы издательства

Maker Media, увлекательно рассказывающие о методах современного производства и всех возможных «сделай сам» направлениях (do it yourself, DIY), продаются в каждом книжном магазине и почти на каждом газетном прилавке Калифорнии. Дэйл Дорти, основатель движения мейкерства (запустивший несколько тысяч мейкерспейсов по всему миру), издательства Maker Media и фестивалей Maker Faire, уверен, что через активное участие в развитии образовательной и творческой экосистемы команды технологических энтузиастов компенсируют недостаточную инновационность корпораций:

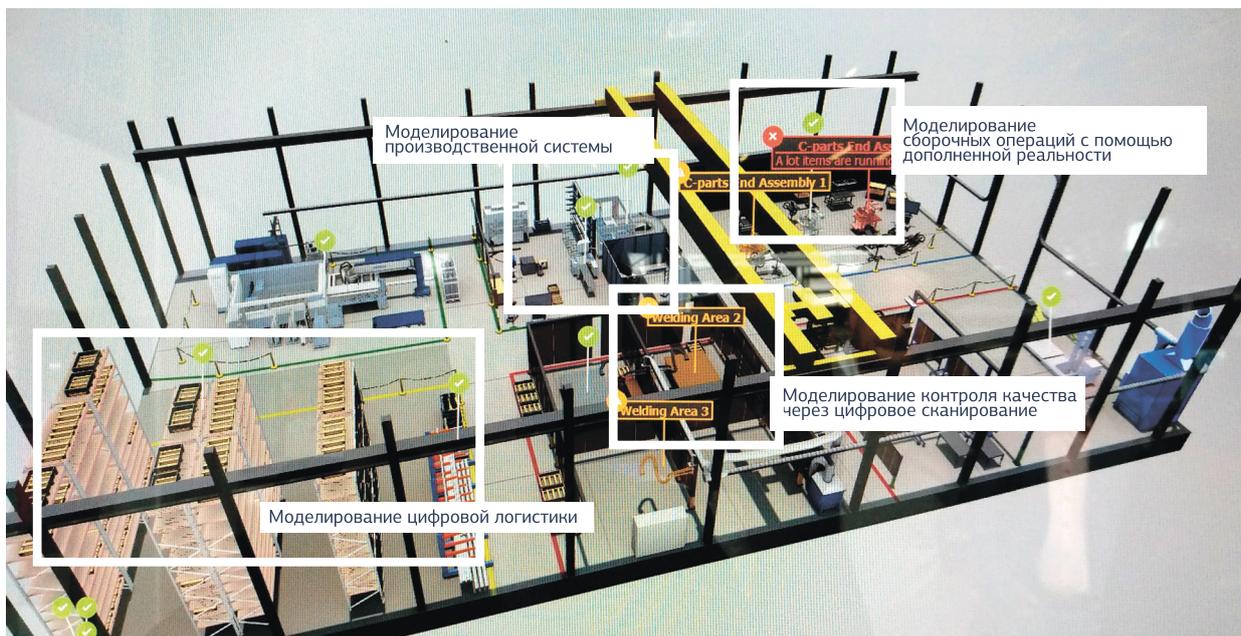
«Мы учим людей не тому, чтобы делать все вещи руками. Мы учим их гораздо большему — пользоваться инструментами, перенимать технологии внутри сообщества умелых людей, привлекать экспертизу по всему миру. Этого не делают ни традиционные вузы, ни корпорации».

В городах Кремниевой долины для каждого реализована возможность прийти с идеей и уйти с продуктом, воспользовавшись станками, оборудованием, инструментом и помощью команды техшопов. За последние три года число техшопов увеличилось, они пользуются популярностью, в том числе, во Франции, Японии, ОАЭ. План запуска на ближайшие годы – в десятках других стран.

Техшопы открыты и расположены в центрах городов, реализуя, в том числе, маркетинг ценности индивидуального и командного производства и созидания – для баланса потребительских моделей.

Благодаря развитию таких пространств, сегодня стало существенно дешевле прототипировать и производить новые продукты и сервисы, чем пять лет назад. Издержки на запуск прототипа продукта сократились в десятки раз, скорость производства прототипа – в разы. Поэтому сегодня экосистемы технологического предпринимательства разных стран про-

Рисунок 21. «Участки центра трансформации индустрии 4.0 в Ахене для моделирования бизнес-процессов производственного предприятия»



изводят инновационные и интересные рынку продукты для всех отраслей, включая медицину, транспорт, сельское хозяйство. Количество стартапов во всех индустриях за три года возросло в сотни раз, единорогов - стартапов с огромным вниманием и убежденностью в их результативности со стороны инвесторов - в десятки раз.

Сегодня в национальных экономиках активно развивающихся стран - один из самых важных элементов - мобилизаторы, пространства для тестирования гипотез, прототипирования продуктов, моделирования бизнес-процессов, прокачки бизнес-моделей. И образовательные программы в этих пространствах. Без таких мобилизаторов экосистемы национальная экономика не может успеть за экспоненциальной диффузией технологий.

Модели развития контрактных производственных компаний

В последние годы развитие открытых контрактных производственных компаний происходит через развитие бизнес-моделей взаимного дополнения их ресурсами и их же возможностей в экосистемах технологического предпринимательства. Пример - работа трех производственных компаний - малых контрактных производителей fictiv.com и sculpteo.com, глобального гиганта Flex и технологического коворкинга Techshop. Эти компании расположены в Сан-Франциско на минимальном расстоянии друг от друга. В том числе благодаря этому их модель открытых контрактных производств работает через синергию различных ресурсов.

Ресурсы Fictiv и Sculpteo - удобный и простой онлайн-маркетплейс для b2c заказов, молодая и энергичная команда предпринимателей. Скорость в исполнении заказов: готовность принять заказ через сайт в 3D-модели, изготовить и доставить деталь за 24 часа. Российский пример - сервисы Prototypster и 3dprintus.

Ресурсы TechShop - открытый до полуночи для производства малых заказов и прототипов парк оборудования и энергичная, очень молодая, почти без бизнес-опыта команда. Возмож-

ность маркетинга ценности цифрового производства, проведение образовательных сессий и программ, развитие интереса целевой аудитории и развитие рынка контрактного производства. Российские примеры - ЦМИТы, но с существенно меньшими возможностями, ресурсами и результативностью.

Ресурсы Flex, микрофабрики и инновационной лаборатории - высокоточное дорогое производственное оборудование и высококомпетентные дорогие специалисты. Российский пример - центр высокоточного прототипирования Кинетика в НИТУ "МИСиС".

Благодаря партнерству все три компании зарабатывают тем, чем по отдельности зарабатывать невозможно или очень сложно.

Fictiv и Sculpteo принимают заказы (3D-модели деталей) через простой и удобный веб-интерфейс. При этом для компании нет необходимости нести затраты на содержание парка производственного оборудования и дорогих специалистов: эту функцию выполняет микропроизводство Flex. Задачу «spark the curiosity», развитие интереса рынка, фактически - маркетинг, создание и развитие нового рынка сложных DIY-продуктов решает TechShop. Через развитие интереса людям становится интересно прототипировать и производить новые продукты, мелкую серию деталей для этого они заказывают на Fictiv и Sculpteo. Круг замкнулся, экосистема сама поддерживает свое развитие.

Также представьте, что происходит, когда люди из этих компаний, команды, заказчики и клиенты, встречаются на тематических мастер-классах и других мероприятиях в свободное время. Из обсуждения их идей, планов и мыслей они начинают создавать новые продукты, сервисы и компании. И благодаря экосистеме относительно быстро растут и выращивают свои компании.

Обеспечение такого партнерства и синергии развития - важная задача для формирующегося рынка контрактных производителей России.

ЧЕК-ЛИСТ ДЕЙСТВИЙ



Проверить наличие в регионе мобилизаторов – творческих пространств прототипирования и создания новых продуктов. Если нет - открыть проект создания и развития. Обеспечить эффективность работы с участниками проекта развития мобилизатора. Задействовать компоненты системы образования: школы, управление, университеты.



Если мобилизатор есть – проверить активность и эффективность его работы. Поддержать маркетингом ценности. Определить достаточность ресурсов и ключевых компонентов для их развития.



Обеспечить обмен опытом с федеральными и международными центрами цифрового производства, моделирования бизнес-процессов и прототипирования продуктов.



Найти промышленных партнеров для развития цифровых производственных площадок. Сформировать консорциум для разработки, прототипирования и производства киберфизических продуктов.



Проверить наличие и зрелость в промышленных парках регионов открытых контрактных производителей и эффективность их бизнес-моделей.

Глава 6

Управление цифровым жизненным циклом продуктов: автономные производства в следующие 5 лет



Резюме главы:

Тренды, определяющие развитие предприятий, важны для анализа и последующей аппроксимации на следующие периоды.

Среди основных – активное развитие быстрых и гибких китайских компаний, выпускающих качественные продукты, высокий интерес предпринимателей к высокотехнологичному пассивному доходу и экспоненциальное ускорение диффузии технологий.

Принимая во внимание описанные тренды, управленческим командам компаний необходимо системно и последовательно оценивать зрелость компании в развитии цифровых технологий, учиться и управлять проектами изменений, следить за выполнением критических факторов результативности цифровой трансформации.

В последние годы проявились нескольких важных производственных трендов.

Первый носит имя «саомизация»: китайские предприятия научились работать со скоростями стартапов, с производительностью и качеством продуктов крупных компаний. Быстрые уничтожают крупных. Развитие исследовательских работ и статей китайских ученых по направлениям цифрового производства [7], инвестиции правительства и крупнейших компаний (Foxconn) Китая в робототехнику и в аддитивное производство [40], площадки для беспилотной доставки беспилотными летательными аппаратами во дворах домов Шанхая, неготовность трудовых ресурсов других стран работать на производствах Китая. Все это – слагаемые экспоненциальной экспансии нового поколения китайской производственной системы. Исторически, Восток и Запад отличается разницей подходов к понятию «труд»: китайская экономика построена на готовности нации сверхинтенсивно трудиться. Американцы – бизнесмены, ищущие пути максимизации дохода при минимизации затрат, в том числе трудовых. Но

тех и других объединяет внутренний locus контроля. Занимая предпринимательскую позицию, лидеры компаний и предприниматели не ждут активных действий от государства, создания единых стандартов, формирования условий и рынка спроса. Лидеры Востока и Запада концентрируют ресурсы и развивают инициативы.

Второй тренд – высокий интерес к высокотехнологичному пассивному доходу, включая ажиотаж вокруг генерации криптовалют на криптофермах и связанный с этим дефицит аппаратного обеспечения. Оценив тренд в исторической перспективе, стоит отметить, что энтузиасты информационных технологий сегодня активно проектируют и уже прототипируют безлюдный, полностью автономный и автоматический бизнес.

Третий тренд – человечество все больше осмысливает себя и контекст во время действия универсального закона Мура – экспоненте диффузии технологий и близком по скорости тренде падения их стоимости. Подробнее об этом тренде мы написали в части «Диффузия технологий» настоящего доклада. Как следствие – в сложившихся экспоненциальных услови-

ях сложно строить долгосрочную стратегию производства конкретных продуктов. Глобальный контекст меняется намного быстрее, чем сроки создания производственных предприятий или выпуска новой продукции на существующем производстве. Это, к примеру, сегодня происходит с солнечными батареями: к моменту запуска производства с конвейера будет выходить морально устаревший продукт, который потеряет свои конкурентные преимущества за время создания производственной линии. Поэтому в новой эпохе основным активом производственной компании являются не реальные производственные цеха, а те самые 15 ключевых

компонентов - виртуальное производство, модели и технологическая платформа, интеллектуальный капитал: система управления проектами, проектирования, R&D, модели процессов и продукции, система капитализации ноу-хау и защиты интеллектуальных прав. По мере развития этих компонентов компания формирует корпоративные своды знаний (corporate books of knowledge) по направлениям - накопленный компаниями опыт систематизируется в корпоративные банки знаний, лучших практик и извлеченных уроков. Компания формирует интеллектуальный капитал. Это, в свою очередь, позволяет быстро тиражировать производство в любую точку

Рисунок 22. Компоненты управления цифровым жизненным циклом продуктов: автономные производства



мира с учетом конъюнктуры текущего момента, краткосрочных прогнозов и эффективности финансовой модели.

Таким образом, сегодня развитые страны конкурируют «экономикой знаний», когда их основные доходы формируются за счет создания интеллектуального капитала, а материальное производство размещается в странах с дешевыми ресурсами (люди, сырье, энергия) для производства продукции. Произошел сдвиг ценности из реального пространства в виртуальное - цифровое. Физические же производственные площадки должны быть способны либо гибко и быстро адаптироваться под новые заказы, либо зарабатывать через реализацию проектов в кооперации с партнерами.

Принимая во внимание эти тренды, сформулируем возможные ответы на вопрос – какие шаги стоит предпринимать компаниям на основании краткосрочного прогноза развития цифрового производства?

1. Прогноз на первые рентабельные проекты с реализацией близкой к приведенной на рисунке 19 последовательности – автономное производство автомобильных запасных частей для ведущих автопроизводителей. Мы прогнозируем реализацию первых контрактов полного цикла от заказа компонентов электромобилей и запасных частей на маркетплейсе до доставки автономным транспортом уже в 2018 году. Поэтому моделирование и прототипирование таких полностью автономных производств - коммерчески обоснованная задача.

2. Как в 2017 майнинг криптовалют вызвал резкое увеличение спроса на аппаратное обеспечение для майнинг ферм, в ближайшее время автономное цифровое производство вызовет увеличение спроса на средства производства с числовым программным управлением, производственной робототехники и других ключевых компонентов и систем.

3. Корпорациям, предпринимателям, малым и средним бизнесам сегодня имеет смысл концентрироваться на отработке

модели автономных производств в прототипах: разработке маркетплейсов как надстройки над PDM системой и базе данных возможных конфигураций заказов; развития производственной сети и связи парка ЧПУ станков с единым центром управления, прототипирования работы смарт-контрактов. Рационально моделировать и отрабатывать цифровую цепочку поставок, оптимизировать жизненный цикл и финансовые модели автономного производства на прототипах.

4. Компания или группа компаний, первой реализовавшая автономное цифровое производство и добившаяся эффективности работы имеет все шансы стать отраслевым лидером. Сегодня автономное и полностью цифровое управление жизненным циклом продуктов уже реализовано на предприятиях юго-восточной Азии и США.

Опираясь на эти наиболее актуальные и яркие тренды, ответим на вопрос: что будет дальше? Чего сегодня производственной киберкомпанией не хватает для дальнейшего роста эффективности? Впереди - несколько быстрых лет завершения цикла оцифровки бизнес и технологических процессов и связанной с этим трансформацией бизнес-моделей (рисунок 21). В связи с этим, в ближайшие годы мы ожидаем развития следующих направлений:

1. Управление цифровыми требованиями заказчика и активизация использования маркетплейсов. Окончательно как системы инструментов сформируются и станут широко доступными электронные конфигураторы с функционалом цифровых требований заказчиков, технических заданий и опросных листов. Эти конфигураторы будут представлены на системно развивающихся маркетплейсах. Сегодня для быстрого старта разработки широкой доступности таких инструментов очень не хватает, хотя в международной практике активно используются, к примеру, конфигураторы для центробежных насосных агрегатов Spaix4Pumps и т. д. При уже существующих технологиях электронно-

цифрового удостоверения личности и развития технологии блокчейн, формирования требований к материалам в соответствующих САД модулях, конечный потребитель машиностроительной продукции все еще не использует эффективно работающие инструменты формирования заказа со стороны потребителя ни в ERP при открытии заказа, ни в PLM перед стартом эскизного проекта. К сожалению, многие заказчики и участники бизнес-процессов, в том числе формирующие технические требования, до настоящего времени не понимают, чем занимаются и зачем созданы бюро САПР на заводе, но абсолютно убеждены в своей компетентности и всемогуществе. Этот поведенческий блок технологической надменности является одним из наиболее сложных узких мест на пути развития цифровых предприятий.

2. Разовьются и станут неотъемлемой частью цифрового производства общие простые, практичные, универсальные стандарты и банки данных нормативно-справочной информации.

3. Виртуальная реальность (VR) станет неотъемлемой частью разработки продукции. Уже сегодня Volvo с помощью виртуальной реальности тестирует поведение автомобилей на стадии разработки, отлаживая скоростные режимы, баланс машины, эргономику, работу электроники. Взаимодействие команд инженеров-конструкторов в иммерсионном центре с цифровым виртуальным прототипом из банка интеллектуальных активов компании станет эффективной операцией при разработке новых изделий.

4. Технологии дополненной (AR) и смешанной (MR) реальности будут эффективно использоваться в сборке, испытаниях и эксплуатации машин и агрегатов. Преимущества имеющихся программно-аппаратных решений дополненной реальности понятны: рабочие получают необходимую для сборки информацию – расположение деталей для сборки или их характеристики из спецификации, прямо перед глаза-

ми. Голосовое управление упрощает взаимодействие цеха и конструкторского бюро, авторский надзор, очки освобождают руки для сборочных операций. Камера в очках используется как сканер штрих-кодов, заменяя ручные сканеры и обеспечивая эффективность взаимодействия с MES.

5. Вендоры представят комплексные решения интегрированного цифрового производства со связующей ролью промышленного интернета для малых и средних производственных предприятий. Активное международное развитие фаблабов и других открытых платформ, фактически лабораторий прототипирования цифрового производства, уже сегодня предоставляет возможности многофункциональной объединённой в единую сеть глобальной платформы прототипирования для опытной эксплуатации таких комплексных решений интегрированного цифрового производства. На первый план выйдет связующая роль промышленного интернета вещей (IIoT) для основных систем цифрового предприятия: M2M CRM - данных от изделий с мест эксплуатации, ERP - анализа перспективного оборота ресурсов, поставок и планирования производства запасных частей и запасов сырья для этого, PLM - данных для конструкторов и технологов об эргономике и необходимости корректировки конструктива изделий. При этом основной результат для предприятий – использование больших объёмов информации для развития и совершенствования бизнес-процессов на основе получения данных от подключенного оборудования. Основным результатом для потребителя – новый функционал такого оборудования будет появляться по требованиям, но незаметно для потребителя, как это уже сегодня происходит с электромобилями. Спрос на улучшение продукта будет удовлетворяться без его вербализации, на основе комплексного анализа использования продукта.

6. Цифровой интерактивный двойник станет доступен для всех производственных

партнеров на всем производственном и эксплуатационном цикле. Вывод информации о состоянии цифрового двойника в режиме реального времени будет отражаться в VI модулях руководителей технологических процессов. Сбор, систематизация данных и предиктивная аналитика состояния промышленного изделия станут эффективной функциональной основой выпуска новых модификаций оборудования и взаимодействия конструкторских подразделений с трехмерной цифровой моделью.

7. Сервисное обслуживание оборудования больше не будет происходить во взаимодействии с механикой и исполнительными механизмами, но в предиктивной аналитике, настройке и обновлении программного обеспечения цифровых систем управления, использовании баз данных и анализе информации.

Для быстрого качественного перехода от аналоговых производств прошлого в киберкомпанию настоящего важно выполнение ключевых критических факторов результативности (CSF):

CSF 1. Команды производственных предприятий работают, опираясь на извлеченные уроки и лучшие мировые практики с анализом динамики результатов, открытостью к новым идеям и совместным обсуждением результатов и перспектив. Крупные корпорации выпускают продукты с гибкостью и скоростями стартапов, развивая инновационные исследовательские центры и «департаменты стартапов» (примеры – компании KSB, Siemens с next47), в которых работают кроссфункциональные и кроссвозрастные команды, улавливающие тренды, быстро трансформирующие их в бизнес-планы и запускающие новые продуктовые программы.

CSF 2. Компания развивает корпоративную инновационную систему [глава 4 настоящего доклада], опираясь на принципы лучших практик создания и развития таких систем.

CSF 3. Со стороны отраслевых ассоциаций при государственной поддержке

формируются и активно используются детальные дорожные карты развития цифрового производства. В Германии развитие определено стандартами Индустрия 4.0, в США – американским консорциумом промышленного интернета, в России – Национальной технологической инициативой и формированием цифровых, умных виртуальных фабрик будущего.

Развитые экономики отвечают на ускоренную диффузию технологий нового технологического уклада активной работой независимых ассоциаций и консорциумов. Среди них: America Makes - National Additive Manufacturing Innovation Institute, MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association) International, DMDI - digital manufacturing and design innovation institute, CCAM - commonwealth center for advanced manufacturing, The big M, New manufacturing alliance, UI LABS, AMT, VDMA (Германия), NACFAM, AREA - The Augmented Reality for Enterprise Alliance.

Основные цели ассоциаций и консорциумов:

1. Бесплатный и открытый обмен лучшими практиками, извлеченными уроками, практиками адаптации технологий, технологическими ресурсами, которые помогают предприятиям внедрять и эффективно использовать технологии. Проведение семинаров, вебинаров, мастер-классов, конференций, форумов по цифровому производству и основным технологиям цифрового производства.

2. Продвижение промышленных технологий нового уклада для развития операционной эффективности предприятий и развития их долгосрочных выгод.

3. Разработка и поддержка использования отраслевых руководящих документов, в том числе функциональных требований от потребителей технологий для производителей технологий.

К примеру, цель консорциума AREA – поддержка диффузии и оптимальной интеграции в производственные процессы технологий индустриальной дополнен-

ной реальности. За последние годы, развитие этой технологии происходит по экспоненте - так как ее влияние на качественные и временные метрики производства существенно. Ее интеграции в производственные процессы внутри ассоциации помогают вендоры аппаратных и программных решений, эксплуатирующие предприятия, университеты, бизнес-школы, государственные структуры. Руководители производственных предприятий буквально записывают за рабочими, использующими технологию, систематизируя эту обратную связь в форматы требований для производителей технологических решений. Коммуникация происходит очень быстро, никто не ждет, что кто-то кого-то "пригласит" или обратится официальным письмом для проведения встреч проектных команд. Результат их совместной работы - согласованные руководящие отраслевые и/или технологические документы.

CSF 4. В качестве базового инструмента предприятие выбирает хорошо интегрируемую, гибкую, быстро развивающуюся, эффективно локально поддерживаемую платформу.

CSF 5. Внедрены и работают общие для заказчика, производителя, потребителя стандарты предприятия жизненного цикла промышленной продукции.

CSF 6. Команды заказчика и эксплуатирующих компаний готовы эффективно внедрять и использовать инструменты интегрированного цифрового производства. Производители готовы гибко изменять организационную структуру компаний, расширять состав специалистов различных направлений в составах конструкторских и технологических бюро.

CSF 7. Активно развиваются образовательные инициативы и популяризуется идеология цифрового предприятия в ЦМИ-Тах, фаблабах, школьных центрах инженерно-технического творчества. Компания работает в партнёрстве с исследовательскими центрами, независимыми образовательными платформами и школами управления.

Развитие цифрового, автономного производства будет происходить гораздо быстрее наших прогнозов. В частности, потому, что мечта и интересы человека, который хоть раз в жизни сам собирал и настраивал работу компьютера, команд людей, которые создали индустрию информационных технологий - бизнес, работающий также точно, быстро, автономно и эффективно, как компьютер. И цифровое производство делают эту мечту реальной.

ЧЕК-ЛИСТ ДЕЙСТВИЙ

- Понять интересы в системе управления цифровым жизненным циклом продуктов автономных производств (рисунок 22).
- Запланировать действия и план развития компании для достижения целей и задач проекта цифровой трансформации.
- Обеспечить выполнение критических факторов результативности (CSF) цифровой трансформации.
- Поддерживать оценку зрелости компании по направлениям развития ключевых производственных систем и технологий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mauricio Armellini and Tim Pike, Bank Underground - блог сотрудников Банка Англии (Bank of England).
2. Everett M. Rogers, Diffusion of Innovations, 5th Edition, 2003
3. Foxconn заменит всех сборщиков на своих фабриках роботами
https://hightech.fm/2017/01/04/foxconn_automation
4. Google Glass Didn't Disappear. You Can Find It On The Factory Floor
<https://goo.gl/FS13P2>
5. Five Trends for Manufacturing's Fourth Wave, <https://goo.gl/yE7X8w>
6. Federico Rotini, Yuri Borgianni, Gaetano Cascini (auth.)-Re- engineering of Products and Processes How to Achieve Global Success in the Changing Marketplace -Springer-Verlag London (2012)
7. Zude Zhou, Shane (Shengquan) Xie, Dejun Chen (auth.)-Fundamentals of Digital Manufacturing Science-Springer- Verlag London (2012)
8. Reinventing production at Tesla, Manufacturing Leadership Journal, October 2016
9. Reverse Engineering - An Industrial Perspective, 2008, Vinesh Raja, Kiran J. Fernandes
10. Re-engineering of Products and Processes - How to Achieve Global Success in the Changing Marketplace, 2012, Federico Rotini, Yuri Borgianni, Gaetano Cascini
11. Технологии аддитивного производства, Я.Гибсон, Д.Розен, Б.Стакер, Москва, Техносфера, 2016
12. RFID-технологии на службе вашего бизнеса, Москва, 2007, Бхуптани М., Морадпур Ш.
13. Клаус Мартин Шваб, Четвертая промышленная революция.
14. Майкл Портер, Джеймс Хеппельман, Революция в конкуренции, Harvard Business Review, ноябрь 2014.
15. Решение YDF внедрено в опытно-промышленную эксплуатацию на ММК
<https://goo.gl/arrcXF>
16. Krouse J.K. What Every Engineer Should Know About Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing: The CAD/CAM Revolution. – New York; Basel: Marcel Dekker, 1982.
17. Блехман И.И., Мышкис А.Д., Пановко Я.Г. Прикладная математика: предмет, логика, особенности подходов. – Киев: Наукова думка, 1976.
18. Design with Confidence: CIMdata Commentary. January 29, 2015. – URL: <https://goo.gl/ytntfxb> (дата обращения: 08.10.2017).
19. Компьютерный инжиниринг / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова, А.А. Михайлов, А.С. Немов, В.А. Пальмов, Е.Н. Силина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с.
20. Бионический дизайн / А.И. Боровков, В.М. Марусева, Ю.А. Рябов, Л.А. Щербина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 92 с.
21. Department of Energy High-End Computing Revitalization Act of 2004. – URL: <https://goo.gl/46pJLM> (дата обращения: 08.10.2017).
22. U.S. Manufacturing—Global Leadership Through Modeling and Simulation. – URL: <https://goo.gl/4Gikyz> (дата обращения: 08.10.2017).
23. Executive Order – Creating a National Strategic Computing Initiative. – URL: <https://goo.gl/pV8SMe> (дата обращения: 08.10.2017).
24. ANational Advanced Manufacturing Portal. – URL: <https://goo.gl/qn1vUA> (дата обращения: 08.10.2017).
25. Materials Genome Initiative for Global Competitiveness / National Science and Technology Council. – URL: <https://goo.gl/jZM5Fb> (дата обращения: 08.10.2017).

26. Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage. – URL: <https://goo.gl/uNyrRr> (дата обращения: 18.09.2017).
27. Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017. – URL: <https://goo.gl/TP2Shw> (дата обращения: 18.09.2017).
28. Stackpole B. Digital Twins Land a Role In Product Design. – URL: <https://goo.gl/vpPPSm> (дата обращения: 18.09.2017).
29. Выписка из Протокола расширенного заседания наблюдательного совета АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов» от 21 июля 2016 года № 1.
30. Современное инженерное образование / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова, В.А. Пальмов, Е.Н. Силина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.
31. Инженерное образование: мировой опыт подготовки интеллектуальной элиты / А.И. Рудской, А.И. Боровков, П.И. Романов, К.Н. Киселева. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 216 с.
32. Organizational Project Management Maturity Model (OPM3®), Knowledge Foundation (3rd Edition), 2013.
33. BIM framework <http://www.bimframework.info/>
34. GBM <http://www.toyota-engineering.co.jp/english/>
35. Gregor M. et al. Digital factory //Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems. – 2009. – Т. 3. – С. 123-132.
36. P Böhler, J Dittmann, D Michaelis, P Middendorf - Lightweight Design, 2016 – Springer Process Simulation as Part of Industry 4.0
37. Интервью с заместителем председателя правления УК «Роснано» Юрий Удадьцов, «Нужно вырастить когорту технопредпринимателей»
38. Michael Stephan, Wolfgang Kerber“Ambidexterity”: Keeping the Balance between Resource Exploration and Exploitation
39. П.Н. Биленко, Жизнь в форме J: риски и возможности ускорения диффузии технологий <https://goo.gl/PG3uar>
40. Китайские госкомпании вложат 150 млрд юаней в новые технологии <https://hightech.fm/2017/05/17/china-investment>
41. П.Н. Биленко, С.Ж. Гандралян, А.П. Шевченко, Выбор и внедрение средств автоматизированного проектирования (САПР) на предприятиях группы ГМС. Насосы и оборудование 4-5/2011. 66
42. FastStorageBW II“: Fraunhofer IPA startet Kleinserienproduktion von Powercaps <https://goo.gl/vrrMWE>
43. Р.А. Бирбраер, И.Г. Альтшуллер. Основы инженерного консалтинга. Технология, экономика, организация. Третье издание
44. Гюнтер Шу, Рейнер Андерл, Юрген Гауземайер, Михаэль тен Хомпель, Вольфганг Вальсетр. Индекс зрелости Индустрии 4.0, исследование Asatech. Управление цифровым преобразованием компаний.
45. Лысенко Л.В., Биленко П.Н., Лысенко С.Л., Шаталов В.К., Челенко А.В. Индикатор нематериальных активов в оценке научно-технического уровня предприятия. Издательство; «Радиотехника»(Москва), 2017
46. Биленко П.Н., Лысенко С.Л., Завалеев И.С., Лысенко Л.В. Комплексная оценка развития предприятия как инструмент повышения производительности труда. Издательство; «Радиотехника»(Москва), 2017

Приложение 1

ОПРОСНЫЙ ЛИСТ ДИАГНОСТИКИ ЗРЕЛОСТИ ЦИФРОВОЙ КОМПАНИИ

Редакция 20.09.2017

Содержание:

Раздел 1. Проектирование и технологическая подготовка производства

- Сегмент 1. Единое информационное пространство
- Сегмент 2. Цифровое моделирование и оптимизация процессов и продуктов, включая FEA/CFD/CAE
- Сегмент 3. Конвергенция цифрового и физического в продуктах и информационная модель выпускаемого продукта - цифровой двойник
- Сегмент 4. Корпоративная инновационная система и акселератор
- Сегмент 5. Интеллектуальная собственность предприятия

Раздел 2. Производство

- Сегмент 6. Цифровой реверс-инжиниринг
- Сегмент 7. Аддитивное производство и быстрое прототипирование
- Сегмент 8. Энергоэффективность
- Сегмент 9. Автоматизированные рабочие места в цехах
- Сегмент 10. Производственные системы

Раздел 3. Управление и материально-техническое снабжение

- Сегмент 11. Цифровое управление логистикой
- Сегмент 12. Трансфер технологий
- Сегмент 13. Кросс-отраслевая кооперация
- Сегмент 14. Партнерство с образовательными платформами
- Сегмент 15. Управление проектами

Раздел 1. Проектирование и технологическая подготовка производства
Сегмент 1. Единое информационное пространство

1. Кроссфункциональное подразделение САПР на предприятии

А.	Сформировано более двух лет назад. Обеспечило внедрение и сопровождение работы CAD, CAM, CAE, PDM, ERP, MES и других модулей единого информационного пространства предприятия	4
Б.	Сформировано более двух лет назад. Обеспечило внедрение и сопровождение работы CAD, CAM, CAE	3
В.	Сформировано в течение последнего года	2
Г.	Работа ведется без формирования отдельного подразделения	1
Д.	Нет	0

2. Конфигуратор заказов, онлайн прием заказов через веб опросные листы

А.	От 60% заказов принято через онлайн конфигуратор	4
Б.	От 20% заказов принято через онлайн конфигуратор	3
В.	В опытной эксплуатации	2
Г.	На стадии внедрения, есть результаты первых этапов	1
Д.	Нет – 0 баллов	0

3. Автоматизированное проектирование, CAD

А.	Вся документация (модели и чертежи) на все продукты компании выполнена в трехмерном CAD, система работает более одного года с уверенным и эффективным использованием конструкторскими подразделениями	4
Б.	Трехмерный CAD с параметризацией, оформлением чертежей в той же системе	3
В.	Трехмерный CAD, оформление чертежей в другом CAD	2
Г.	Двумерный CAD	1
Д.	Нет	0

4. Автоматизированная технологическая подготовка, CAM

А.	Библиотека управляющих программ для всех средств производства и составов изделий производственной программы предприятия	4
Б.	В промышленной эксплуатации, для некоторых видов средств производства и изделий	3
В.	В опытной эксплуатации	2
Г.	На стадии внедрения, есть результаты первых этапов	1
Д.	Нет	0

5. Автоматизированное управление производственными процессами, MES

А.	Контроль, мониторинг, прогнозирование в режиме реального времени исполнения производственной программы полностью в MES	4
Б.	В промышленной эксплуатации (менее года), для некоторых видов изделий	3
В.	В опытной эксплуатации (менее квартала)	2
Г.	На стадии внедрения, есть результаты первых этапов	1
Д.	Нет	0

Полный опросный лист может быть направлен по запросу к авторам:
Биленко Павел, Лысенко Сергей, Лысенко Леонид, Завалеев Илья, Фокин Сергей

Авторы

1. Боровков Алексей Иванович
Проректор по перспективным проектам
Санкт-Петербургского политехнического
университета Петра Великого,
лидер-соруководитель рабочей группы
«Технет» НТИ, лидер мегапроекта
«Фабрики Будущего», кандидат технических
наук, профессор
2. Лысенко Леонид Васильевич
Доктор технических наук, профессор КФ МГТУ
им. Баумана
3. Биленко Павел Николаевич
Руководитель образовательных программ
Индустрии 4.0 Департамента Корпоративного
обучения Московской школы
управления СКОЛКОВО
Генеральный директор инженерного
центра «ТЕКНЕР»
4. Верховский Николай Сергеевич
Руководитель проектной работы,
профессор практики
Московской школы управления СКОЛКОВО
5. Фельдман Максим Олегович
Директор департамента EMBA и MBA
программ Московской школы
управления СКОЛКОВО
6. Лысенко Сергей Леонидович
Генеральный директор
ООО «Калуга-Инжиниринг»
Кандидат технических наук
7. Завалеев Илья Сергеевич
LEED AP BD+C, PMP, директор компании HPBS
8. Фокин Сергей Николаевич
Управляющий директор
АНО «Агенство по технологическому
развитию»
9. Рябов Юрий Александрович
Начальник отдела технологического
и промышленного форсайта
Инжинирингового центра
«Центр компьютерного инжиниринга»
(CompMechLab®) СПбПУ,
кандидат политических наук
10. Марусева Валерия Михайловна
Аналитик отдела технологического и
промышленного форсайта
Инжинирингового центра
«Центр компьютерного инжиниринга»
(CompMechLab®) СПбПУ
11. Красинский Сергей Иванович
Руководитель отдела сервиса
12. Парыгин Андрей Викторович
Сервис-инженер
13. Демин Павел Викторович
Сервис-инженер
14. Третьяков Алексей Борисович
Сервис-инженер

Авторы доклада выражают благодарность компаниям-партнерам, принявшим участие в проведении исследования и подготовке доклада.



**Департамент Корпоративного обучения
Московской школы управления СКОЛКОВО**

+7 495 539 3003
info@skolkovo.ru
exedu@skolkovo.ru
www.skolkovo.ru

Обновляемая цифровая редакция доклада
на сайте skolkovo.ru/odm3

Московская школа управления СКОЛКОВО — одна из ведущих частных бизнес-школ России и СНГ, основанная в 2006 году по инициативе делового сообщества.

Образовательные программы Московской школы управления СКОЛКОВО ориентированы на все стадии развития бизнеса – от стартапа до крупной корпорации, выходящей на международные рынки. Программы построены по принципу «обучение через действие» и включают в себя теоретические блоки, практические задания, проектную работу и международные модули.

Московская школа управления СКОЛКОВО сегодня:

- **1630** выпускников дипломных программ
- более **14 800 слушателей** корпоративных программ
- **100 компаний-клиентов**
- **150 профессоров** международного уровня
- **1300** приглашенных экспертов
- более **100 исследований** в области образования, энергетики, экономики, филантропии и урбанистики.

Московская школа управления СКОЛКОВО также является центром экспертизы и притяжения для тех, кто делает ставку на Россию и работу на рынках с быстро меняющейся экономикой.