

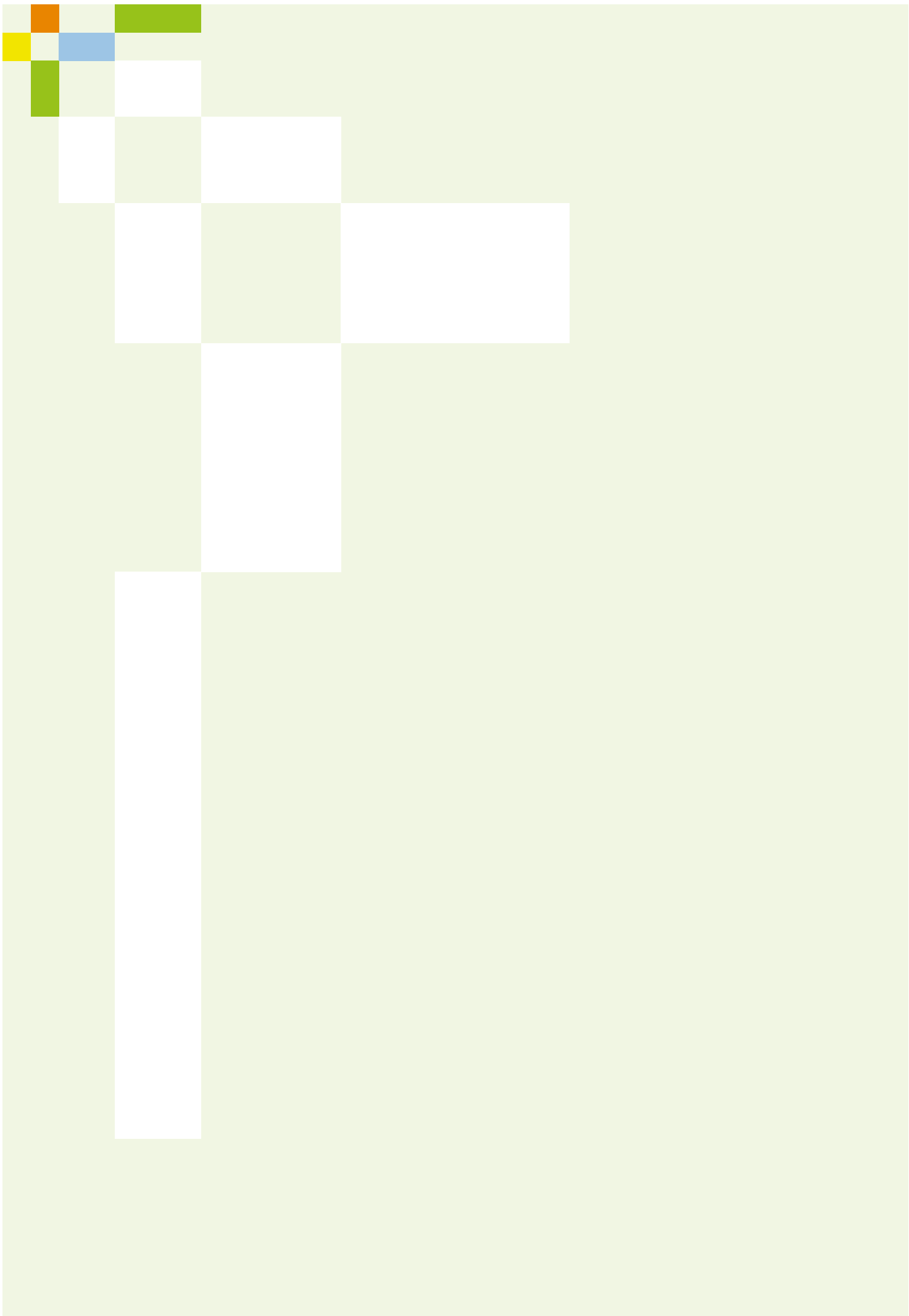


acatech ИССЛЕДОВАНИЕ

# Индекс зрелости Индустрии 4.0

Управление цифровым  
преобразованием компаний

Гюнтер Шу, Рейнер Андерл,  
Юрген Гауземайер, Михаэль тен Хомпель,  
Вольфганг Вальстер (и др.)



acatech ИССЛЕДОВАНИЕ

# Индекс зрелости Индустрии 4.0

Управление цифровым  
преобразованием компаний

Гюнтер Шу, Рейнер Андерл,  
Юрген Гауземайер, Михаель тен Хомпель,  
Вольфганг Вальстер (и др.)



## Исследование acatech

Это исследование включает в себя отчеты, которые представляют результаты проектов, выполненных Национальной академией наук и техники Германии. Цель исследования – предоставить оценку на основе полной информации и ориентированные на будущее рекомендации для политических деятелей и общества.

Все изданные ранее публикации acatech доступны для загрузки на сайте:  
[www.acatech.de/uk/home-uk/work-and-results/publications](http://www.acatech.de/uk/home-uk/work-and-results/publications).

# оглавлéние

<b>Предисловие</b>	<b>5</b>
<b>Краткий обзор</b>	<b>6</b>
<b>Проект</b>	<b>7</b>
Руководство проектом	7
Проектная группа	7
Партнеры по консорциуму/ проектная команда	7
Координаторы проекта	8
Эксперты	8
Длительность проекта	9
Финансирование и поддержка проекта	9
<b>1 Введение</b>	<b>10</b>
Гибкая компания в Индустрии 4.0	11
<b>2 Цель и методология</b>	<b>14</b>
2.1 Методологический подход	14
2.2 Индекс зрелости Индустрии 4.0 acatech	15
<b>3 Концепция Индекса зрелости Индустрии 4.0 acatech</b>	<b>16</b>
3.1 Ценностно-ориентированные этапы развития	16
3.1.1 Первый этап – информатизация	16
3.1.2 Второй этап – связанность	17
3.1.3 Третий этап – наглядность	18
3.1.4 Четвертый этап – проницаемость	18
3.1.5 Пятый этап – предсказуемость	19
3.1.6 Шестой этап – самокоррекция	20
3.2 Общий проект модели	20
<b>4 Характеристики предприятий для Индустрии 4.0</b>	<b>22</b>
4.1 Материальные и нематериальные ресурсы	22
4.1.1 Цифровые возможности	23
4.1.2 Структурированная коммуникация	25
4.1.3 Заключение	26
4.2 Информационные системы	26
4.2.1 Обработка информации с алгоритмом самообучения	28
4.2.2 Интеграция информационных систем	30
4.2.3 Заключение	31



4.3	Организационная структура	31
4.3.1	Органическая внутренняя организация	32
4.3.2	Динамичное сотрудничество в сети создания ценности	35
4.3.3	Заключение	36
4.4	Культура организации	36
4.4.1	Готовность к изменениям	37
4.4.2	Социальное взаимодействие	39
4.4.3	Заключение	40
<b>5</b>	<b>Функциональные области в бизнесе</b>	<b>42</b>
5.1	Разработка	42
5.2	Производство	44
5.3	Логистика	47
5.4	Обслуживание	48
5.5	Маркетинг и продажи	50
<b>6</b>	<b>Применение Индекса зрелости Индустрии 4.0 acatech</b>	<b>52</b>
6.1	Принципы применения	52
	Этап 1 – определение текущего этапа зрелости Индустрии 4.0	52
	Этап 2 – определение характеристик, требующих развития	54
	Этап 3 – определение конкретных мер	54
6.2	Количественная оценка выгод	56
6.3	Пример применения в компании	56
<b>7</b>	<b>Заключение</b>	<b>59</b>
	<b>Список использованных источников</b>	<b>60</b>

## Предисловие

Коммерческие организации и политические деятели в равной мере признают грандиозные возможности для роста, предлагаемые цифровизацией, взаимосвязанностью и новыми технологиями производства. Совместно эти процессы способствуют продвижению новых бизнес-моделей, устойчивому и эффективному использованию ограниченных ресурсов и экономичному производству продуктов с возможностью адаптации. Эти достижения совместно известны под названием «Индустрия 4.0», обозначающим беспрецедентное преобразование в промышленности, гибкость и динамичность.

В ходе многочисленных исследований был выполнен анализ отношения компаний к такому цифровому преобразованию, а также связанных с ним возможностей и основных преград. Последние редко связаны лишь с недостатком соответствующих технологий или стандартов. Во многих случаях трудности в реализации концепции Индустрии 4.0 обусловлены органически сформировавшимися жесткими организационными структурами и консервативной культурой, в которой людям недостает смелости что-либо изменить.

Наша непрерывная работа над реализацией принципов бережливого управления с 1990-х годов научила нас тому, что недостаточно просто внедрять изменения – для успешной реализации также требуется глубокое понимание организации и повсеместная готовность к изменениям со стороны ее членов. Так же как под бережливым производством подразумевается нечто гораздо большее, чем просто предотвращение нерационального использования ресурсов, концепция Индустрии 4.0 – гораздо больше, чем просто установление связи между машинами и продуктами через Интернет. В этом исследовании подчеркивается необходимость изменения данной парадигмы.

Использование новых технологий и приобретение знаний посредством целевой обработки информации неизбежно приведет к появлению новых типов и способов работы. Это обуславливает необходимость изменения структур в компаниях и отношений между компаниями. Следовательно, для достижения успеха важнейшую роль играет возможность анализа преобладающей корпоративной культуры и существующих моделей мышления. Соответственно, к ключевым задачам предприятий относится понимание того, что для них значит Индустрия 4.0, и систематическая разработка соответствующей стратегии реализации. Основное внимание в этом исследовании уделено именно этим аспектам, а также требованиям Индустрии 4.0 к информационным технологиям и ресурсам.

Индекс зрелости Индустрии 4.0 acatech – великолепный пример миссии acatech по продвижению сотрудничества между научным сообществом и промышленным сектором. Междисциплинарный консорциум научно-исследовательских учреждений из разных областей провел совместную работу с партнерами из промышленного сектора в каждой части промышленной цепочки создания ценности, чтобы установить текущий уровень готовности производственных компаний к Индустрии 4.0, а также чтобы определить области, в которых требуются дальнейшие действия. Это систематическое определение слабых сторон и возможностей служит основой для формирования стратегии реализации. Коротко говоря, данное исследование acatech представляет собой практическое руководство для производственных компаний по разработке индивидуального плана реализации Индустрии 4.0, соответствующего их бизнес-стратегии.

Надеемся, что это исследование покажется вам интересным.

**Хеннинг Кагерманн (Henning Kagermann)**

Президент acatech



## Краткий обзор

Термин «Индустрия 4.0» используется с 2011 года для описания обширного применения информационно-коммуникационных технологий в промышленном производстве. Однако недостаточно рассматривать разработки, связанные с Четвертой промышленной революцией, исключительно с технологической точки зрения – компаниям также нужно преобразовывать свою организацию и культуру. Хотя передовые технологии действительно делают возможным доступ к гораздо более широкому диапазону данных, способность реализовать потенциал, лежащий в основе этих данных, в большой степени зависит от организационной структуры и культуры компании. Конечная цель – стать постоянно развивающейся, гибкой компанией, готовой быстро и непрерывно адаптироваться к меняющейся среде. Индекс зрелости Индустрии 4.0 предоставляет компаниям руководство по осуществлению этой трансформации. В нем представлена модель развития из шести этапов. Достижение очередного этапа дает дополнительные преимущества.

В Индексе зрелости Индустрии 4.0 в центре внимания – четыре ключевые области, каждая из которых основана на двух фундаментальных принципах. Основная задача для компаний, желающих реализовать концепцию Индустрии 4.0, – применить эти принципы на практике путем развития разных характеристик,

описанных в этом исследовании. Цель состоит в том, чтобы извлекать знания из данных для преобразования компании в постоянно развивающуюся, гибкую организацию, которая сможет быстро принимать решения и адаптировать каждую часть предприятия и все области производственной деятельности к новым условиям. Способность быстро адаптироваться станет значительным конкурентным преимуществом компаний в эпоху инноваций.

Характеристики, описанные в этой модели, соответствуют трудностям и текущей деятельности производственных компаний, а ее применимость подтверждена на практике. Это помогло подтвердить актуальность принципов модели и подчеркнуть тот факт, что на данный момент компании не уделяют достаточного внимания всем последствиям своего стратегического планирования. Многие организации по-прежнему не имеют базового представления о ключевых аспектах Индустрии 4.0. Например, зачастую компании ошибочно полагают, что Индустрия 4.0 ограничивается цифровизацией или полной автоматизацией. Кроме того, многие принятые меры не направлены на достижение общей цели, а являются отделенными и независимыми друг от друга. Индекс зрелости Индустрии 4.0 acatech может использоваться для разработки плана действий по цифровому преобразованию, в точности соответствующего потребностям каждой отдельной компании, который поможет им извлечь максимальную пользу из Индустрии 4.0 и стать постоянно развивающимися, гибкими организациями.



## Проект

### Руководство проектом

- Доктор технических наук, профессор Гюнтер Шу (Günther Schuh), Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена; член правления acatech.

### Проектная группа

- Доктор технических наук, профессор Рейнер Андерл (Reiner Anderl), Кафедра автоматизированного проектирования, Дармштадтский технический университет; acatech.
- Доктор технических наук, профессор Юрген Гауземайер (Jürgen Gausemeier), Институт Хайнца Никсдорфа, Университет Падерборна; член правления acatech.
- Доктор технических наук, профессор Гюнтер Шу (Günther Schuh), Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена; член правления acatech.
- Доктор наук, профессор Михаэль тен Хомпель (Michael ten Hompel), Институт перемещения грузов и логистики им. Фраунгофера (IML), Технический университет Дортмунда; acatech.
- Почетный доктор наук, профессор Вольфганг Вальстер (Wolfgang Wahlster), Немецкий исследовательский центр по искусственному интеллекту (DFKI); acatech.

### Партнеры по консорциуму/ проектная команда

- Доктор наук Тильман Бекер (Tilman Becker), Немецкий исследовательский центр по искусственному интеллекту (DFKI).
- Доктор наук Ансельм Блохер (Anselm Blocher), Немецкий исследовательский центр по искусственному интеллекту (DFKI).

- Изабель Бюккер (Isabel Bücker), Высшая школа логистики, Технический университет Дортмунда.
- Марвин Древел (Marvin Drewel), Институт Хайнца Никсдорфа, Университет Падерборна.
- Андреас Фат (Andreas Faath), Кафедра автоматизированного проектирования, Дармштадтский технический университет.
- Тобиас Харланд (Tobias Harland), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Марио Герман (Mario Hermann), Технический университет Дортмунда.
- Герд Герцог (Gerd Herzog), Немецкий исследовательский центр по искусственному интеллекту (DFKI).
- Доктор наук Филипп Юссен (Philipp Jussen), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Ульрике Кребс (Ulrike Krebs), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Максимилиан Лукас (Maximilian Lukas), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Бенедикт Мозер (Benedikt Moser), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Катрин Пиц (Katrin Pitz), Кафедра автоматизированного проектирования, Дармштадтский технический университет.
- Даниэль Порта (Daniel Porta), Немецкий исследовательский центр по искусственному интеллекту (DFKI).
- Ян Решке (Jan Reschke), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Себастьян Шмиц (Sebastian Schmitz), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.



- Мориц Шрётер (Moritz Schröter), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Мориц Вебер (Moritz Weber), Кафедра автоматизированного проектирования, Дармштадтский технический университет.
- Лукас Венгер (Lucas Wenger), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Торстен Вестерман (Thorsten Westermann), Институт проектирования мехатронных систем им. Фраунгофера (IEM).
- Виолетт Зеллер (Violetta Zeller), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Доктор наук Бертольд Гертнер (Bertolt Gärtner), TÜV SÜD AG.
- Маркус Ханнен (Markus Hannen), PTC Inc.
- Доктор наук Флориан Харценеттер (Florian Harzenetter), PTC Inc.
- Доктор наук Андреас Хаузер (Andreas Hauser), TÜV SÜD Asia Pacific Pte. Ltd.
- Крейг Хейман (Craig Hayman), PTC Inc.
- Говард Хеппельманн (Howard Heppelmann), PTC Inc.
- Клаус Хильгер (Claus Hilger), HARTING IT System Integration GmbH & Co. KG.
- Ульрих Крайц (Ulrich Kreitz), itelligence AG.
- Давид Кронмюллер (David Kronmüller), TÜV SÜD Industrie Service GmbH.
- Доктор наук Рави Кумар Г. В. В. (Ravi Kumar G. V. V.), Infosys Ltd.
- Удо Ланге (Udo Lange), itelligence AG.
- Доктор наук Ян Стефан Михельс (Jan Stefan Michels), Weidmüller Interface GmbH & Co. KG.
- Джефф Миллер (Jeff Miller), PTC Inc.
- Гордон Мюль (Gordon Mühl), Infosys Ltd.
- Доктор технических наук, профессор Борис Отто (Boris Otto), Институт разработки систем и программного обеспечения им. Фраунгофера (ISST), Технический университет Дортмунда.
- Фелиза Палаги (Felisa Palagi), PTC Inc.
- Доктор наук Томас Розер (Thomas Roser), PTC Inc.
- Зудип Зингх (Sudip Singh), Infosys Ltd.
- Доктор технических наук, профессор Волкер Штих (Volker Stich), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Клаус Страк (Klaus Strack), itelligence AG.
- Эрвин Тангер (Erwin Tanger), Atos IT Solutions and Services GmbH.
- Доктор наук Аделин Томас (Adeline Thomas), itelligence AG.
- Франк Тюг (Frank Tüg), PTC Inc.
- Вернер Варро (Werner Varro), TÜV SÜD Product Service GmbH.
- Кевин Вренн (Kevin Wrenn), PTC Inc.
- Рене Цёльфель (Rene Zölfel), PTC Inc.

## Координаторы проекта

- Кристиан Хоккен (Christian Hocken), Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена.
- Доктор наук Александр Вербик (Alexander Werbik), офис acatech.
- Доктор наук Йоханнес Винтер (Johannes Winter), офис acatech.

## Эксперты

- Ульрих Але (Ulrich Ahle), Atos IT Solutions and Services GmbH.
- Доктор наук Себастьян Буссе (Sebastian Busse), UNITY AG.
- Доктор технических наук, профессор Роман Думитреску (Roman Dumitrescu), it's OWL Clustermanagement GmbH.
- Нампурая Энозе (Nampuraja Enose), Infosys Ltd.
- Кент Эрикссон (Kent Eriksson), PTC Inc.
- Доктор наук Урсула Франк (Ursula Frank), Beckhoff Automation GmbH & Co. KG.

## **Длительность проекта**

04/2016 – 04/2017

## **Финансирование и поддержка проекта**

Финансирование проекта предоставлено партнерами из промышленного сектора. Академия acatech хотела бы поблагодарить следующие компании:

- Infosys Ltd.
- PTC Inc.
- TÜV SÜD AG.
- Technology Network it's OWL и аффилированные компании:
  - Atos IT Solutions and Services GmbH.
  - Beckhoff Automation GmbH & Co. KG.
  - HARTING Technology Group.
  - itelligence AG.
  - UNITY AG.
  - Weidmüller Interface GmbH & Co. KG.

# 1 Введение

Термин «Индустрия 4.0» был введен в 2011 году группой Communication Promoters Group Научно-промышленного исследовательского альянса (Industry-Science Research Alliance) для описания масштабного применения информационно-коммуникационных технологий в промышленном производстве. Под «4.0» имеется в виду то, что потенциальное революционное влияние этой тенденции представляет собой непосредственное продолжение трех предыдущих промышленных революций. С 2011 года по всему миру появились инициативы, касающиеся совмещения промышленного производства, цифровых технологий и Интернета. Среди них, например, Консорциум промышленного Интернета (Industrial Internet Consortium) в США и Инициатива промышленной цепочки создания ценности (Industrial Value Chain Initiative) в Японии.

Согласно разным исследованиям, только для экономики Германии в ближайшие 5 лет **потенциал создания ценности Индустрии 4.0** оценивается в 100–150 млрд евро. Однако в действительности эти показатели попрежнему остаются далекой перспективой для промышленного сектора.<sup>1</sup> Одна из основных причин заключается в том, что на данный момент во многих компаниях недооцениваются конкретные преимущества Индустрии 4.0. Это подтверждает исследование Федерального министерства экономики и энергетики Германии (BMWi), в котором непрозрачность преимуществ указывается как одна из ключевых преград для реализации Индустрии 4.0, особенно среди предприятий малого и среднего бизнеса. С ней часто связывают технологическую и финансовую неопределенность, а также слишком долгие сроки реализации. В результате на данный момент немецкие компании совершенно не расположены к инвестированию.<sup>2</sup>

На сегодняшний день единственные меры, реализуемые во многих компаниях, сводятся к эпизодическим пилотным проектам, которые, по сути, схожи с технико-экономическими обоснованиями. Подобные проекты не в состоянии продемонстрировать полный потенциал Индустрии 4.0, поскольку в них не учитываются ключевые

аспекты ее реализации, такие как организационная структура и культура компании. В результате изменения зачастую носят только эволюционный характер. К сожалению, часто они не отражают фактические процессы организации и не соответствуют реальным потребностям производственных компаний. Как следствие, примеров трансформационных изменений в отдельных предприятиях или на уровне экономики в целом крайне мало. В то же время производственные компании, особенно в Германии, сталкиваются с ростом конкуренции на рынках. Динамичная среда и обусловленные ею сложности подразумевают, что компаниям необходимо быстрее принимать эффективные решения, чтобы сохранить конкурентоспособность в долго-срочной перспективе. Существующие методы ведения деятельности во многих случаях не справляются с этой задачей, из-за чего компании рискуют потерять контроль над своим основным направлением работы. Процесс принятия решения может занимать недели или даже месяцы, при этом решения зачастую основываются на интуиции, а не на конкретных данных. При разработке продуктов издаются документы с требованиями к продуктам и устанавливаются подробные спецификации, хотя авторы не имеют полного представления о потребностях клиента. Если становится известна какая-то новая информация, в процесс разработки или производства можно внести лишь незначительные изменения, и даже это может занять очень много времени. Многие сотрудники и лица, ответственные за принятие решений, регулярно тратят время в поисках и в ожидании необходимой информации. Это лишь некоторые примеры, иллюстрирующие существующие серьезные недостатки и потенциал для масштабных преобразований.

Главный экономический потенциал Индустрии 4.0 заключается в ее способности **ускорить корпоративные процессы принятия решений и адаптации**. Это касается как процессов повышения эффективности в проектировании, производстве, обслуживании, продажах и маркетинге, так и основной деятельности отдельных структурных подразделений и изменения бизнес-модели. В этом исследовании Индустрия 4.0 определяется как «многосторонняя связь в реальном времени с использованием большого объема данных и взаимосвязанность между киберфизическими системами и людьми». Доступность огромных объемов данных и

1 | См. BMWi 2015, стр. 19.

2 | Там же, стр. 37.

информации по доступным ценам и (при необходимости) в реальном времени обеспечивает возможность лучшего понимания того, как определенные вещи соотносятся друг с другом, и служит основой для более быстрого принятия решений. Наряду с правильной организационной структурой это позволяет компаниям быстрее реагировать на условия рынков, на которых работают их клиенты и которые становятся все более динамичными, а также быстрее разрабатывать новые продукты, более точно соответствующие требованиям клиентов, и в разы быстрее представлять эти продукты на рынке. Взаимосвязанность технологических и, в частности, организационных компонентов дает возможность достичь гибкости, которая является ключевой характеристикой, необходимой компаниям в рамках Индустрии 4.0. Это преобразование в гибкую компанию – самая важная возможность для производственных компаний в Индустрии 4.0. Конечно же, компании смогут в полной мере использовать потенциал Индустрии 4.0 только в том случае, если будут применять описанные выше методы работы во всех своих бизнес-процессах и если данные и анализ данных будут видимы всему предприятию.

### Гибкая компания в Индустрии 4.0

Гибкость – стратегическая характеристика, которая становится все более важной для успеха компаний. В этом контексте гибкость указывает на возможность реализовывать изменения в компании в реальном времени, включая, к примеру, фундаментальные системные изменения бизнес-модели компании.

Обработка информации играет ключевую роль в организации быстрых адаптационных процессов в компании. В этом и состоит значимость Индустрии 4.0. Чем быстрее организация сможет адаптироваться к событию, вызывающему изменение в положении ее дел, тем больше преимуществ принесет такая адаптация. В этом контексте общий термин «событие» может относиться к ряду различных бизнес-решений. События могут иметь краткосрочный характер (например, сбой на производственной линии), а также среднесрочный и долгосрочный (например, изменение в требованиях к продукту и соответствующие модификации в самом проекте продукта, производственном процессе и сопутствующих процессах, связанных с закупкой, обеспечением качества и обслуживанием). На

сегодняшний день, когда в компании происходит такое событие, образуется задержка до того момента, пока не станут доступными подробные данные о событии. Под этим подразумевается также задержка в принятии соответствующих решений и ответных мер (см. Рис. 1). Одна из причин заключается в том, что соответствующие информационные системы недостаточно интегрированы для комплексной обработки – от сбора до анализа данных.

Возможности Индустрии 4.0 помогают производственным компаниям резко сократить время между возникновением события и реализацией необходимых ответных мер (см. Рис. 2). На практике это означает, что, к примеру, изменения требований клиента, основанные на эксплуатационных данных, могут быть учтены даже на этапе производства продукта, поскольку гибкость компании позволяет ей адаптироваться к новой ситуации. В результате клиенту может быть предоставлен более качественный продукт, соответствующий его точным требованиям, за гораздо более короткий срок.

### Дополненная реальность

Дополненная реальность – один из примеров сокращения времени ожидания. Применение цифровой информации в условиях реального мира создает новое направление сценариев использования. Цифровая информация, такая как трехмерные модели САПР или данные, получаемые датчиками или вычисляемые ИТ-системами, могут быть применены в контексте реального мира. Это приводит к образованию гораздо большего потока информации, который из мира информационных технологий поступает, например оператору или специалисту по техническому обслуживанию. Как следствие, любая задача будет выполняться такими специалистами быстрее и с меньшим количеством ошибок, так как они могут получить точные, актуальные данные. Использование старых способов передачи такой информации, например, посредством руководства пользователя или телефонных звонков, можно исключить.

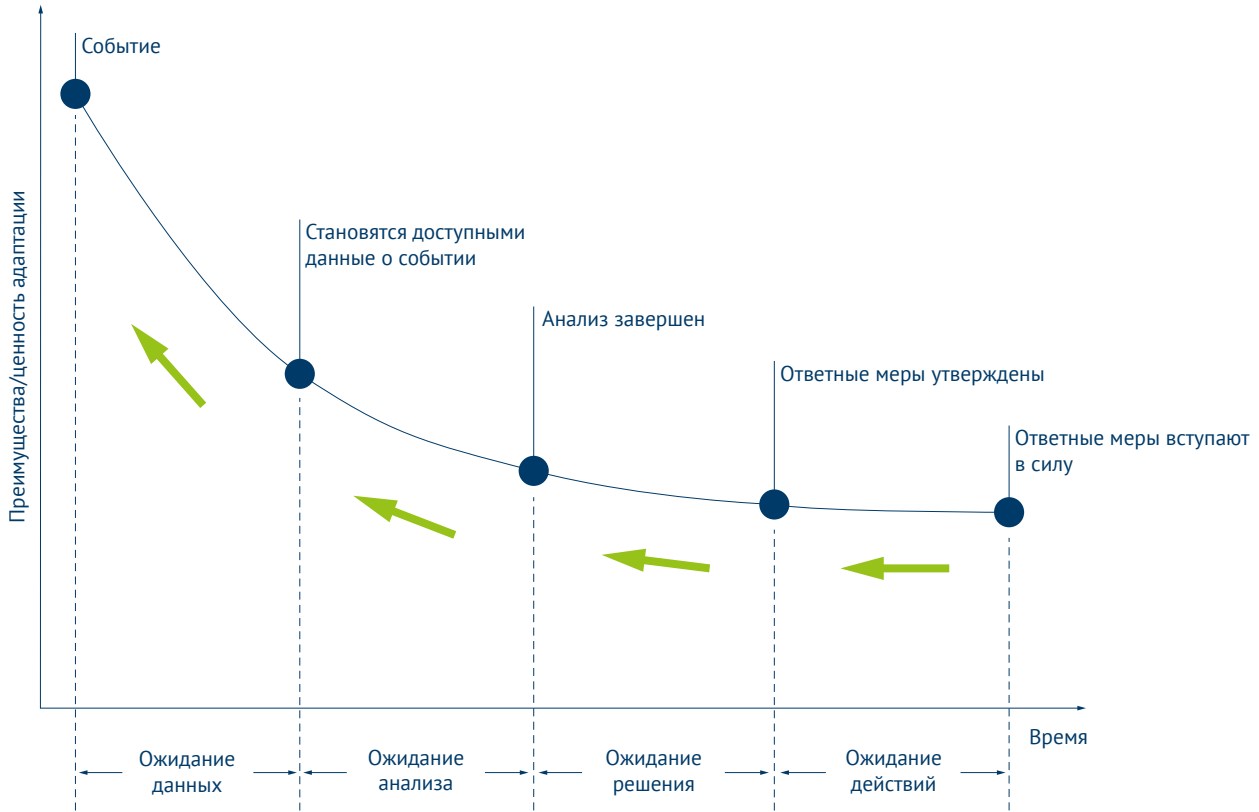


Рис. 1. Процессы корпоративной адаптации (источник: Hackathom 2002; Muehlen/Shapiro 2010)

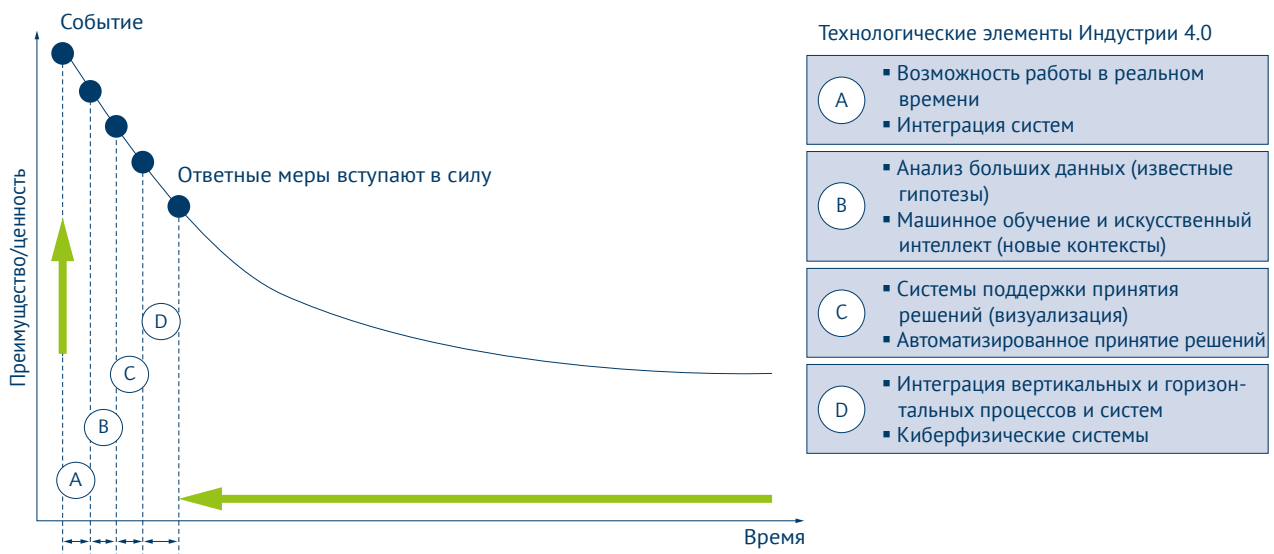


Рис. 2. Как организационное обучение увеличивает пользу адаптации (источник: Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена)

Для достижения этой цели требуется внедрение целого ряда разных технологий. Кроме того, соответствующая информация должна быть доступна для открытых и изолированных хранилищ данных. Однако одних лишь технологических изменений недостаточно. Новые подходы к организационной структуре и культуре компании также играют крайне важную роль в успешной трансформации. Например, вся организация должна быть подготовлена к тому, чтобы поддерживать и внедрять непрерывные изменения.

Цель трансформации состоит в том, чтобы создать постоянно развивающуюся, гибкую компанию, готовую

непрерывно адаптироваться к меняющимся условиям за счет соответствующих технологий, организационного обучения и процессов принятия решений с применением данных высокого качества, доступных в более короткие сроки. Постоянно развивающаяся, гибкая компания может занять лидирующие позиции в сфере цифрового управления. Индекс зрелости Индустрии 4.0 от [casat.ch](#) предоставляет производственным компаниям руководство, как самостоятельно прийти к тому, чтобы стать постоянно развивающейся, гибкой компанией, а также дает им представление о мерах, которые принесут конкретные преимущества.



## 2 Цель и методология

Общая цель данного исследования заключается в предоставлении средства для установления текущей готовности компаний к Индустрии 4.0 и определения конкретных мер, которые помогут им достичь более высокого этапа зрелости и извлечь максимум экономических выгод из Индустрии 4.0 и цифровизации. Оценка текущих процессов и последующее определение областей, требующих принятия мер, позволяет компаниям получить практическое руководство для собственной цифровой трансформации.

### 2.1 Методологический подход

Тесное сотрудничество с партнерами по проекту и методологический подход, имеющий практическую направленность, базируются на проведении семинаров и тематических исследований. Тематические исследования направлены на анализ современного феномена в его реалистическом контексте и используются, когда отсутствуют очевидные границы между феноменом и контекстом.<sup>3</sup> Такая методология была выбрана для этого исследования асатеch, поскольку с научной точки зрения сфера Индустрии 4.0 представляет собой недавно возникший феномен, в котором отсутствуют четкие границы из-за недостатка стандартизации и распространения.

Семинары были ориентированы на то, чтобы использовать накопленный опыт разных членов консорциума и в то же время поддерживать междисциплинарный диалог и

сотрудничество. Благодаря этому были созданы новые формы сотрудничества между участниками и появилась возможность планирования и реализации проектов в короткие сроки.

На Рис. 3 показано разделение методологии исследования на четыре конструктивных этапа. Три из этих четырех этапов опираются друг на друга, тогда как четвертый представляет собой постоянный поток задач, выполняемых на протяжении всего исследования.

Первоначальный этап «исследовательского и промышленного консорциума» лежит в основе всего исследования. Всесторонняя поддержка, которую предоставляли партнеры из исследовательского и промышленного секторов в течение целого года, позволила найти баланс между теорией и практикой.

Консорциум проводил регулярные встречи руководящего комитета, на которых члены комитета получали текущую информацию о проекте и контролировали ход его выполнения.

И, наконец, методологию в целом поддержали разные компании. Оценка производственным предприятием Harting AG & Co. KG представлена в главе 6.3. Это служит доказательством того, что модель, разработанная в рамках исследования, по существу охватывает все важные области деятельности производственной компании, подтверждая актуальность ее формальных аспектов и представленной в ней информации. Конкретные рекомендации, полученные на основании модели, доказали свою практичность и применимость в качестве руководства для компаний.



Рис. 3. Методология исследования (источник: авторская схема)

3 | См. Yin 2009.



Четвертый этап, проходящий красной нитью через весь проект, включает постоянные проверки промежуточных результатов. Исходя из цели постоянного улучшения, результаты непосредственно использовались для расширения и оптимизации методологии. Это способствовало сокращению времени и издержек, сопряженных с разработкой модели, и положительно отразилось на качестве методологии.

## 2.2 Индекс зрелости Индустрии 4.0 acatech

Индекс зрелости Индустрии 4.0 acatech помогает компаниям определить, на каком этапе своей трансформации в развивающуюся, гибкую компанию они находятся на данный момент. Он позволяет выполнить оценку с технологической, организационной и культурной точек зрения с упором на бизнес-процессы производственных компаний.

У каждой компании свой путь к Индустрии 4.0. Следовательно, необходимо начать с анализа текущей ситуации и целей каждой компании. Текущую ситуацию компании помогут оценить следующие вопросы: каковы ее стратегические цели на ближайшие несколько лет? Какие технологии и системы уже реализованы и как они функционируют в рамках компании? Ответы на эти вопросы можно использовать для определения того, какие характеристики компании еще нужно приобрести

для успешного внедрения концепции Индустрии 4.0. Важно признать, что успешная трансформация происходит поэтапно. Кроме того, каждой компании необходимо принять стратегическое решение в отношении конкретных преимуществ, которых она хочет достичь, своих приоритетов и последовательности принятия соответствующих мер. В результате применения этой методологии будет сформирован план действий по цифровому преобразованию для всех соответствующих областей с пошаговым подходом для достижения преимуществ, который поможет снизить инвестиции и риски реализации для компании. Такой план действий помогает компаниям понять важность разработки общей стратегии цифрового преобразования для предприятия в целом. Этот подход проиллюстрирован на Рис. 4.

В оставшихся главах этого исследования будет представлено подробное описание модели, лежащей в основе Индекса зрелости Индустрии 4.0 acatech, разделенной на организационные и функциональные области. В разделе об организационных областях описаны ключевые организационные характеристики, необходимые для гибкой компании в концепции Индустрии 4.0. В следующем разделе в форме концепций проиллюстрированы потенциальные цели развития существующих корпоративных структур. В последней части исследования описано применение модели в производственной компании, а также представлен ряд реальных примеров, показывающих, как эта теория работает на практике.



Рис. 4. Методология для внедрения концепции Индустрии 4.0 (источник: авторская схема)



## 3 Концепция Индекса зрелости Индустрии 4.0 acatech

Подход, используемый в этой модели, основан на последовательности этапов развития, т. е. ценностно-ориентированных уровней развития, которые помогают компаниям проходить каждый этап преобразования, от основных требований для Индустрии 4.0 к полной реализации. Так как желаемая цель компании будет зависеть от ее бизнес-стратегии, каждой компании необходимо самостоятельно принять решение о том, какой этап развития представляет оптимальный баланс между издержками, возможностями и преимуществами в ее конкретном случае, принимая во внимание то, как эти требования со временем меняются в связи с изменениями в бизнес-среде и стратегии компании. Чтобы были учтены все аспекты производственных компаний, структура модели основана на «Производственно-управленческой концепции».<sup>4</sup> Четыре структурных области этой концепции обеспечивают возможность комплексного анализа и определяют ряд руководящих принципов, позволяющих компаниям установить, какие характеристики для Индустрии 4.0 им еще необходимо развить. Индекс зрелости Индустрии 4.0 представляет собой ценный инструмент для компаний, который помогает им преобразовать всю организацию.

### 3.1 Ценностно-ориентированные этапы развития

Внедрение концепции Индустрии 4.0 подразумевает значительное повышение уровня знаний о цифровых технологиях в производственной компании и связанных с ними возможностей, а также влечет за собой изменения сразу в нескольких крупных частях организации. Поскольку это преобразование является довольно сложной задачей, ее осуществление обычно занимает несколько лет. Эта задача должна быть запланирована и реализована таким образом, чтобы

обеспечить положительное влияние на прибыльность (т. е. рост и эффективность) на разных этапах в течение всего процесса преобразования. Преимущества должны быть видны на любом этапе трансформации для обеспечения ее успеха в целом. Такой подход позволяет получать быстрые результаты и одновременно двигаться к конечной цели преобразования.

Эта стратегия обуславливает необходимость пошагового подхода к развитию компании. В рамках исследования мы разработали путь развития для Индустрии 4.0, который начинается с базовых требований для Индустрии 4.0 и обеспечивает поддержку компаний в течение всего процесса их преобразования в постоянно развивающиеся, гибкие организации. Этот путь включает шесть этапов развития. Каждый этап основан на предыдущем и описывает характеристики, необходимые для его достижения, а также потенциальные выгоды для компании (см. Рис. 5). Важно, чтобы характеристики накапливались поэтапно, т. е. преимущества первого этапа могут быть получены при наличии меньших возможностей, чем на втором этапе. Процесс преобразования – это непрерывный путь, включающий множество последовательных шагов, которые нужно делать постепенно. Их не всегда можно идеально синхронизировать во всех компаниях, предприятиях, производственных линиях и объектах. Каждой компании необходимо принять решение о том, какой этап развития представляет оптимальный баланс между издержками и преимуществами в ее конкретном случае и, следовательно, какой из них следует определить в качестве цели на конец запланированного процесса преобразования.

На сегодняшний день компании все еще решают проблемы, связанные с созданием базовых условий для Индустрии 4.0. Соответственно, путь развития начинается с цифровизации. Хотя сама по себе цифровизация не является частью Индустрии 4.0, информатизация и связанность представляют собой базовые требования для ее реализации. За этими двумя первоначальными этапами следует четыре других этапа, в ходе которых развиваются характеристики, необходимые для Индустрии 4.0.

#### 3.1.1 Первый этап – информатизация

Информатизация – первый этап на пути развития, поскольку она представляет собой основу для

4 | См. Boos с соавт. 2011, стр. 55.



Рис. 5. Этапы на пути развития для Индустрии 4.0 (источник: Институт управления промышленной деятельностью (FIR) при Рейнско-Вестфальском техническом университете Ахена)

цифровизации. На этом этапе разные информационные технологии используются раздельно друг от друга в рамках компании. Информатизация уже довольно распространена в большинстве компаний и главным образом используется для более эффективного выполнения повторяющихся задач. Информатизация открывает важные преимущества, например помогает удешевить производство и одновременно привести его к более высоким стандартам и более высокой точности, без которой было бы невозможно изготавливать многие современные продукты. Тем не менее, мы до сих пор видим множество оборудования без цифрового интерфейса. Это особенно актуально в отношении оборудования с длинными циклами или аппаратов, управляемых вручную. В таких случаях недостающим звеном в связи между бизнес-приложениями и оборудованием зачастую становятся терминалы.

Одним из примеров этапа информатизации является фрезерный станок с ЧПУ типа CNC. Хотя некоторые его узлы характеризуются высокой точностью за счет использования числового программного управления, данные САПР, в которых подробно указаны действия для выполнения, зачастую по-прежнему необходимо

передавать на фрезерный станок вручную. Другими словами, станку не хватает связанности. Еще один пример – системы для коммерческого применения, не подключенные к ERP-системе компании. В результате может возникнуть такая ситуация, когда, к примеру, полуавтоматический контроль качества будет выполняться на испытательной станции, но зафиксированные данные не будут связаны с соответствующим рабочим заданием. Из-за этого впоследствии становится гораздо труднее определить, какие проблемы качества возникли на определенных этапах.

### 3.1.2 Второй этап – связанность

На этапе связанности взаимосвязанные элементы приходят на смену раздельному внедрению информационных технологий. Широко используемые бизнес-приложения связаны друг с другом и отражают ключевые бизнес-процессы компании. Части систем эксплуатационных технологий обеспечивают связанность и взаимодействие, однако полная интеграция уровней информационных и эксплуатационных технологий еще не достигнута.



IP-протокол находит все более частое применение, даже на производстве. Поскольку текущая версия IPv6 дает возможность использовать гораздо более длинные адреса, чем ее предшественник IPv4, теперь все компоненты могут быть соединены друг с другом без необходимости преобразования сетевых адресов. Это ключевое требование для Интернета вещей. Связанность означает, к примеру, что после создания проекта на стадии проектно-конструкторских работ его данные передаются на производство для выполнения работ по изготовлению (процессы CAD/CAM). После завершения производства возможно автоматическое предоставление подтверждения в реальном времени посредством системы управления производством (MES). Она также позволяет производителям механических станков выполнять удаленное техническое обслуживание продуктов, используемых клиентами, благодаря доступности дешевых и высококачественных каналов связи.

На существующих предприятиях производственные активы находятся в использовании до тех пор, пока с их помощью можно изготавливать качественные продукты. Нередко мы можем видеть оборудование, изготовленное более 50 лет назад, которое до сих пор используется на производстве. Поскольку IP-протокол обеспечивает возможность стандартизированной коммуникации на производственной площадке, применение новых сенсорных технологий означает, что эти активы, не утратившие своей продуктивности, могут быть с легкостью соединены с другими системами для предоставления производственных данных.

### 3.1.3 Третий этап – наглядность

Датчики позволяют фиксировать выполнение процессов с самого начала до конца с огромным количеством точек ввода данных. Благодаря снижению цен на датчики, микрочипы и сетевые технологии теперь можно записывать события и состояния в реальном времени во всей компании и за ее пределами, а не просто в отдельных областях, таких как производственные участки, как это было ранее. За счет этого актуальная цифровая модель предприятий стала доступна на всех этапах. Мы называем эту модель цифровой моделью компании. Цифровая модель может показать, что происходит в компании на определенный момент времени, чтобы управленческие решения были основаны на реальных данных.

Следовательно, она представляет собой краеугольный камень для последующих этапов. Создание цифровой модели является серьезной проблемой для многих компаний. Одна из трудностей состоит в том, что обычно отсутствует единый источник достоверных данных, поскольку зачастую они хранятся в децентрализованных хранилищах. Кроме того, часто в таких сферах, как производство, логистика и обслуживание, по-прежнему собирается очень мало данных, даже в рамках централизованных процессов. Помимо этого, зачастую полученные данные видит только ограниченное число людей, которые имеют к ним доступ и разбираются в соответствующих системах. Более широкое использование данных запрещено ввиду границ системы. Для создания постоянно развивающегося, гибкого предприятия обязательным условием является предоставление общих прав на получение данных. Таким образом важные сведения об операциях будут предоставляться всему предприятию.

Так, благодаря этому можно гораздо быстрее определить изменение даты поставки, вызванное какой-либо проблемой, – посредством ключевых показателей эффективности в реальном времени и панелей управления. Таким образом, управляющий по производству может скорректировать планирование производства, а клиенты и поставщики будут в курсе дел.

Это одна область, в которой компаниям необходимо изменить свой образ мышления. Вместо сбора данных для конкретного анализа или поддержки определенной операции им необходимо иметь возможность в любой момент создать актуальную модель всей компании, не связанную с отдельными событиями анализа данных. Сочетание существующих источников данных с использованием датчиков на производстве может принести значительные преимущества. Интеграция систем PLM, ERP и MES обеспечивает комплексную картину, которая позволяет увидеть текущее положение дел. Кроме того, модульные подходы и приложения могут помочь в создании единого источника достоверных данных.

### 3.1.4 Четвертый этап – проницаемость

Третий этап включает создание так называемой цифровой модели текущей ситуации компании. Следующий этап помогает компании понять, почему происходят определенные события, и использовать эту информацию, чтобы получить необходимые знания путем анализа

первопричин. Для определения и интерпретации взаимосвязей в цифровой модели полученные данные должны быть проанализированы посредством применения инженерных знаний. Семантическая связь, агрегация данных для получения необходимой информации и соответствующая контекстуализация обеспечивают знание процессов, необходимое для поддержки сложного и быстрого принятия решений.

Новые технологии, поддерживающие анализ больших объемов данных, могут оказаться чрезвычайно полезными в этом отношении. Большие данные – популярное выражение, часто упоминаемое в этом контексте. Оно используется для описания больших массивов данных, которые уже нельзя обрабатывать и анализировать с использованием традиционных процессов бизнес-аналитики. Термин «большие данные» также охватывает технологии и приложения, которые обеспечивают возможность обработки и объединения этих огромных и зачастую неоднородных массивов данных.

Как правило, приложения для обработки больших данных развертываются параллельно с корпоративными системами, такими как ERP или MES. Таким образом, приложения для обработки больших данных предоставляют общую платформу, которая может использоваться, к примеру, для выполнения анализа объемных случайных данных с целью выявления взаимосвязей в цифровой модели компании. Такая прозрачность в отношении важных взаимосвязей может использоваться, например, для мониторинга состояния станков и оборудования. В записанных параметрах выполняется поиск общих событий и зависимостей, которые затем объединяются для формирования составных событий, отражающих состояние станка или оборудования. Следовательно, прозрачность, среди прочего, является требованием для профилактического технического обслуживания.

### 3.1.5 Пятый этап – предсказуемость

Предсказуемость – следующий этап развития, основанный на этапе проницаемости. После достижения этого этапа компания может моделировать различные будущие сценарии и определять наиболее вероятные из них. Сюда входит прогнозирование будущей цифровой модели. Это делается, чтобы представить разнообразные сценарии, вероятность которых впоследствии можно оценить. В результате компании

### Практический пример: HIROTEC

Простои в работе – серьезная проблема, с которой сталкиваются изготовители комплектного оборудования (ОЕМ), например, HIROTEC AMERICA. Компания является членом HIROTEC Group – поставщика производственного оборудования и зап-частей для автоматизации, имеющего 26 объектов в девяти странах мира. В большинстве случаев используемые станки работают без мониторинга состояния, по сути находясь в работе до возникновения поломки. В случае сбоя для проведения необходимого ремонта вызывается соответствующий персонал. Компания HIROTEC решила уйти от этой модели технического обслуживания по требованию, и, соответственно, от упущенных возможностей путем использования имеющейся информации и систем для получения более глубоких данных о своих операциях и процессах. Признавая необходимость в связанности, доступе к данным и масштабируемости, руководство HIROTEC направило свои силы на разработку конкурентоспособной стратегии, чтобы воспользоваться потенциальными преимуществами Интернета вещей. Работа началась с определения фундаментальных технологий, которые помогли бы в применении принципов Интернета вещей. Компания остановила свой выбор на платформе Интернета вещей для обеспечения связанности между устройствами и облаком в рамках всей компании посредством одного комплексного набора инструментов.

Благодаря реализации этого решения компания HIROTEC смогла обрести более глубокое представление о своих активах и ресурсах за счет получения более глубоких знаний о текущих потребностях и приоритетах активов. Это помогло HIROTEC повысить свою продуктивность. «Всего лишь за шесть недолгих недель мы получили более глубокое представление о наших операциях, чем когда-либо прежде, увеличили объем инвестиций и укрепили веру в силу Интернета вещей», – говорит Джастин Хестер (Justin Hester), старший научный сотрудник в HIROTEC.



могут предвидеть будущие события и, как следствие, своевременно принять решение и надлежащие меры. Хотя действия в рамках таких мер все еще нужно выполнять вручную, благодаря более длительному времени на подготовку сокращаются возможные негативные последствия. Уменьшение количества непредвиденных событий, вызванных, к примеру, поломками или отклонением от плана, обеспечивает более стабильную работу предприятия. Например, компания может обратить внимание на периодические проблемы в сфере логистики, такие как сбои в работе перевозчика, даже до их возникновения, и предотвратить их – в данном случае путем смены перевозчика.

Предсказуемость в значительной мере зависит от проделанной работы. Должным образом сформированная цифровая модель и знание соответствующих взаимосвязей вместе помогут делать прогнозы и давать рекомендации высокого качества.

### 3.1.6 Шестой этап – самокоррекция

Самокоррекция – фундаментальное требование для автоматизированных решений и автоматизированного процесса их принятия. Постоянная адаптация позволяет компании переложить обязанности по принятию определенных решений на ИТ-системы, чтобы иметь возможность максимально быстро адаптироваться к меняющейся бизнес-среде.

Степень предсказуемости зависит от сложности решений и соотношения затрат и выгод. Зачастую оптимальным вариантом является автоматизация отдельных процессов. Соответственно, необходимо изучить, насколько целесообразно выполнять повторяющиеся операции в автономном режиме. При этом важно внимательно оценить риски автоматизации утверждений и подтверждений для клиентов и поставщиков. В качестве примера можно привести изменение последовательности запланированных задач из-за ожидаемых сбоев оборудования или во избежание задержек поставки.

Цель предсказуемости считается достигнутой, когда компания может использовать данные цифровой

модели для принятия решений, которые принесут наилучшие результаты в максимально короткий срок, и автоматически, т.е. без участия человека, реализовывать соответствующие меры.

## 3.2 Общий проект модели

В этой главе описывается общий проект модели, лежащей в основе Индекса зрелости Индустрии 4.0 acatech (см. Рис. 6). В целях представления в модели полного описания производственной компании Индекс зрелости Индустрии 4.0 acatech основан на «Производственно-управленческой концепции».<sup>5</sup> В этой концепции внутренние аспекты компании разделены на корпоративную структуру, корпоративные процессы и корпоративное развитие.<sup>6</sup> Корпоративная структура относится к тем аспектам компании, без которых невозможно обойтись при производстве ее товаров и услуг. Корпоративные процессы, с другой стороны, относятся к технологическим цепочкам в каждой области деятельности компании, а корпоративное развитие обозначает стратегическое и оперативное развитие компании.<sup>7</sup>

В Индексе зрелости Индустрии 4.0 acatech структура компании разделяется на четыре области: ресурсы, информационные системы, культура и организационная структура. Подробное описание четырех структурных областей приведено в главе 4. Для каждой структурной области определено два руководящих принципа наряду с необходимыми характеристиками. Обретение этих характеристик направлено на достижение различных этапов развития и является основой для преобразования производственных компаний в гибкие организации.

Корпоративные процессы служат основой пяти функциональных областей, анализируемым в Индексе. Пять функциональных областей: развитие, производство, логистика, обслуживание, маркетинг и продажи рассматриваются в главе 5.

Для каждой функциональной области представлена концепция, иллюстрирующая особенности, которые

5 | См. Voos с соавт. 2011, стр. 55.

6 | Помимо внутренних аспектов компании, в «Производственно-управленческой концепции» также рассматриваются такие аспекты, как группы заинтересованных лиц и окружающая среда. Однако они не учитываются в Индексе зрелости Индустрии 4.0 acatech и, следовательно, не включены в наше исследование.

7 | См. Voos с соавт. 2011.



характеризуют развивающиеся, гибкие компании. Применение Индекса зрелости Индустрии 4.0 acatech описано в главе 6. На практике структурные области, функциональные области и этапы развития объединяются для определения общей зрелости производственной компании и зрелости отдельных

функциональных областей. Мы показываем, как после установления текущего этапа зрелости компании она может разработать план действий по цифровому преобразованию, описывающий конкретные меры в определенной последовательности как для функциональных, так и для структурных областей.

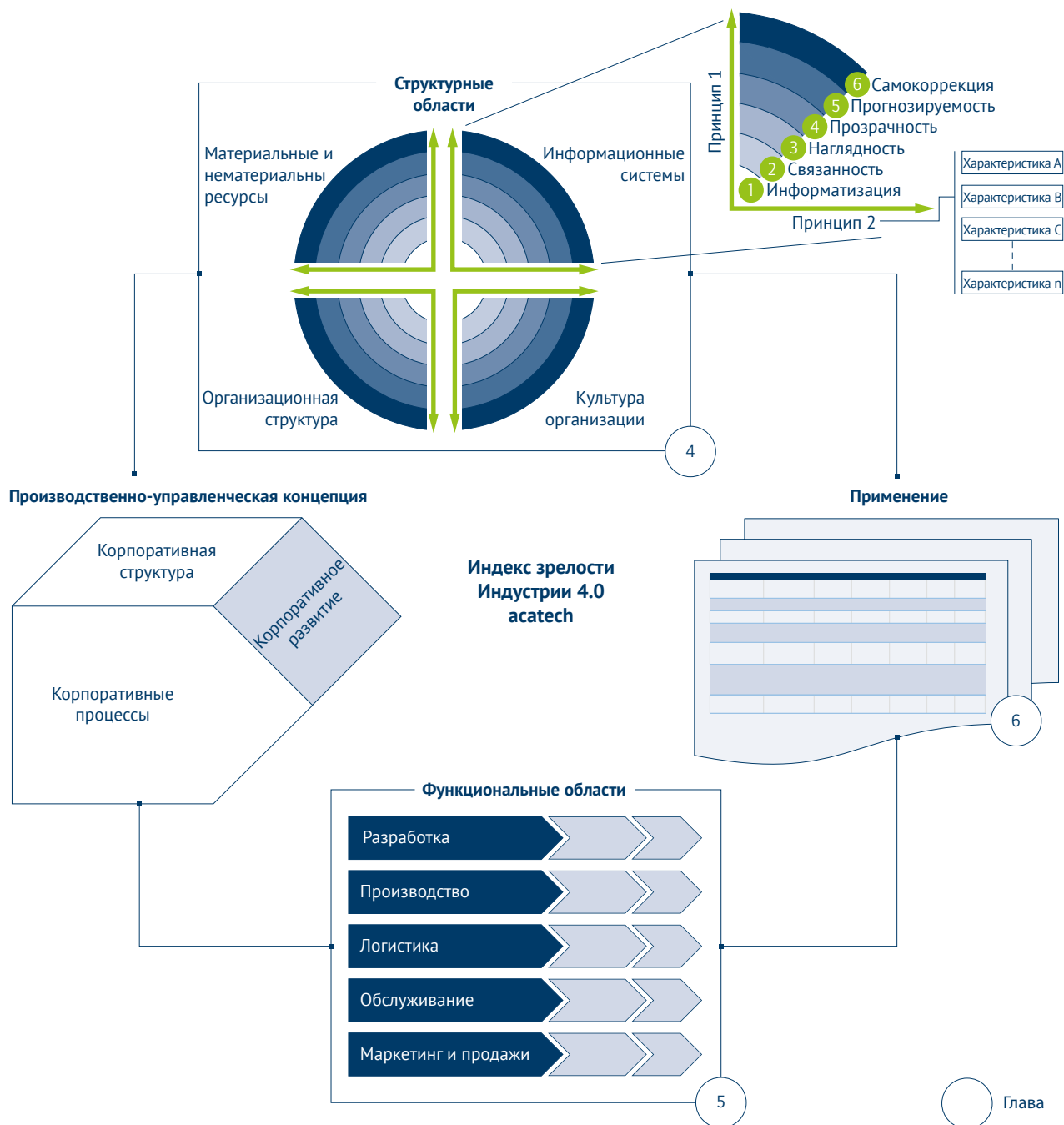


Рис. 6. Проект модели Индекса зрелости Индустрии 4.0 acatech (источник: авторская схема)



## 4 Характеристики предприятий для Индустрии 4.0

В этой главе описываются характеристики, которыми должна обладать производственная компания для преобразования в постоянно развивающуюся, гибкую организацию. В ней рассматриваются четыре структурных области ресурсов, информационных систем, культуры и организационной структуры (см. Рис. 7). Совместно эти структурные области образуют организационную структуру. Они связаны шестью этапами пути развития для Индустрии 4.0, представленными шестью концентрическими кругами.

В каждой структурной области прослеживаются два принципа, которые служат руководством для ее непрерывного развития. Каждый принцип включает ряд характеристик, которые должны быть последовательно развиты для каждого ценностно-ориентированного этапа развития. Степень развития этих характеристик определяет этап зрелости

соответствующего принципа. Совместно этапы зрелости обоих принципов обеспечивают полную оценку текущего этапа развития структурной области. На Рис. 7 оценки структурных областей представлены в виде четырех зеленых точек.

### 4.1 Материальные и нематериальные ресурсы

В Индексе зрелости Индустрии 4.0 aacatech под «ресурсами» подразумеваются материальные, физические ресурсы. К ним относятся сотрудники компании (трудовые ресурсы), станки и оборудование, инструменты, материалы и конечный продукт. Сотрудники должны обладать определенной квалификацией, чтобы максимально эффективно использовать полученную информацию. Правильно настроенные дополнительные технические ресурсы могут сократить задержки передачи данных и действий (см. «Введение»). Помимо выполнения своей определенной функции, компаниям следует стремиться к тому, чтобы у их ресурсов был интерфейс между физическим и цифровым мирами. Это обеспечит создание информационной точки зрения в цифровом мире (цифровой модели), способствующей процессу

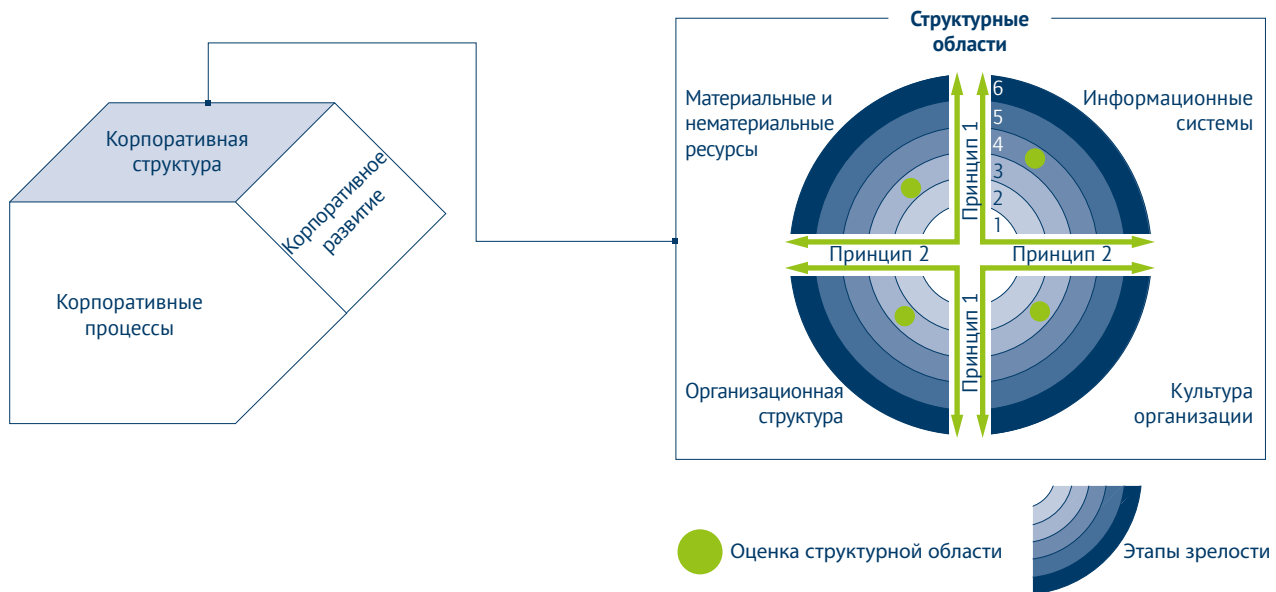


Рис. 7. Структурные области (источник: авторская схема)



обучения, который необходим для повышения гибкости компании. Из этого следуют два принципа.

Во-первых, ресурсы должны обладать необходимыми характеристиками для работы на основе информации.<sup>8</sup> Следовательно, сотрудники должны уметь определять источники данных и потенциальные методы их обработки. С точки зрения технических ресурсов требуется внедрение технологических возможностей для сбора данных и их преобразования в информацию. В этом контексте под информацией подразумеваются данные, которые в результате интерпретации можно использовать для принятия решений. Вытекающий из этого принцип цифровых возможностей помогает сотрудникам отталкиваться в своей работе от имеющейся информации и следовательно быть в курсе решений фактической ситуации. Этот подход основан не на целевых показателях в плане, которые зачастую берутся из предположений и прогнозов, а на информации, полученной из производственной среды. Однако именно сотрудники должны обеспечить должную настройку этой системы, чтобы данный способ работы мог реализовать свой потенциал.

Во-вторых, только комбинация разных источников данных гарантирует полноценность общей картины. Чтобы убедиться в достаточном качестве информации, необходим обмен данными и, по возможности, их создание в максимально структурированном порядке. Для этого требуются соответствующие интерфейсы, а также согласованность в отношении цели коммуникации. Соответственно, принцип **структурной**

**коммуникации** описывает технический подход к работе сотрудников со средствами коммуникации и интерфейсы как между людьми и оборудованием, так и между разными видами оборудования. На Рис. 8 представлен обзор принципов и соответствующих характеристик. Их подробное объяснение приводится ниже.

#### 4.1.1 Цифровые возможности

Для получения и анализа данных и реализации соответствующих решений существующие ресурсы (т. е. все сотрудники, станки и оборудование, инструменты, материалы и продукты) должны обладать определенной компетенцией или быть усовершенствованы с помощью соответствующих технологических компонентов. В данной модели эти базовые требования для основанной на информации работы и обучения совместно называются «цифровыми возможностями».

##### Обеспечение цифровых компетенций

Ввиду растущего распространения информационно-коммуникационных технологий в продуктах и процессах компаниям чрезвычайно важно способствовать междисциплинарному подходу в образе мышления и действиях сотрудников. Сотрудники должны быть более активно вовлечены в инновационные процессы, чтобы иметь возможность извлекать пользу из максимально большого объема знаний. Постоянная автоматизация многих технологических операций означает, что в будущем возрастет потребность в использовании сотрудниками своих навыков принятия решений и



Рис. 8. Характеристики структурной области «ресурсы» (источник: авторская схема)

8 | В этом контексте под информацией подразумеваются данные, которые в результате интерпретации можно использовать для принятия решений.



креативных навыков.<sup>9</sup> В долгосрочной перспективе применения одних лишь прикладных навыков будет недостаточно. Также будет необходимо в большей степени наделять сотрудников индивидуальной ответственностью, чтобы ускорить процессы обучения и принятия решений.<sup>10</sup>

Сейчас как никогда важно, чтобы при принятии решений сотрудники могли оценивать, собирать и обрабатывать данные и информацию. Это в итоге поможет им принимать обоснованные, здравые решения. Однако работникам важно не только понять ценность информации для принятия решений в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе, но и обрести общее понимание Индустрии 4.0. По мере растущего распространения информационных систем и коммуникационных технологий компаниям также необходимо помогать своим сотрудникам приобретать всесторонние междисциплинарные ИТ-навыки, обеспечивающие базовое понимание возможностей применения и процессов, используемых в разных частях компании. Это поможет расширить традиционные рамки профессиональной специализации персонала.<sup>11</sup>

Когда сотрудники регулярно работают с ИТ-системами и в связи с этим часто соприкасаются с конфиденциальной информацией, им чрезвычайно важно осознавать важность информационной безопасности. Информирование сотрудников о возможных утечках данных и их причинах является важнейшей частью обучения персонала. Учитывая растущую популярность социальных сетей и инструментов для совместной работы, для внутренней и особенно внешней коммуникации необходимо разрабатывать и применять новые правила. Тогда как доступ к обширной базе данных полезен при принятии

решений, часть этих данных может представлять собой интеллектуальную собственность компании, поэтому ее нельзя передавать третьим лицам. Стандарты, такие как IEC 62443 обеспечивают комплексную стратегию ИТ-безопасности сетей и производственных систем.<sup>12</sup>

**Получение данных посредством датчиков и активаторов** Приоритетом для таких технологических ресурсов, как станки и оборудование, инструменты и продукты является их развитие для создания киберфизических систем. Киберфизические системы создаются путем усовершенствования мехатронных компонентов со встроенными системами, такими как датчики, активаторы и системы обработки информации, с коммуникационным уровнем.<sup>13</sup> Опыт показывает, что компании, которые пытаются реализовать киберфизические системы, склонны либо создавать локальные цепи управления, не взаимодействующие с другими ресурсами, либо использовать маркировку (штрихкоды или технологии радиочастотной идентификации) для ведения учета существующих объектов, не используя в полной мере потенциал автоматической идентификации.<sup>14</sup> Оснащение станков и оборудования многочисленными датчиками уже стало обычным явлением. Главным образом они используются для мониторинга стабильности технических процессов и любых краткосрочных доработок. В дополнение к этому стандартному мониторингу физических параметров, ключевым требованием для мониторинга бизнес-процессов посредством предоставления обратной связи является способность определять местонахождение объектов. Кроме того, достижения в визуализации открывают новые способы записи качественных данных. Следовательно, ключевым условием для создания цифровой модели является определение необходимых требований к данным и выбор подходящих датчиков.

9 | См. Bauernhansel с соавт. 2016, стр. 10 и далее.

10 | См. acatech 2016.

11 | Там же.

12 | См. IEC 62443.

13 | См. Bauernhansel с соавт. 2016.

14 | Например, компания, работающая в сфере металлообрабатывающей промышленности, запустила пробное испытание, включающее оснащение старого станка датчиками звука, возникающего в конструкции, чтобы отслеживать износ инструмента и осуществлять его профилактическое техническое обслуживание. После записи и анализа показателей была определена связь между звуком, возникающим в конструкции, и остаточным сроком службы. Однако, поскольку решение было разработано в виде закрытой цепи управления и не было интегрировано в сеть компании, задания по профилактическому техническому обслуживанию по-прежнему необходимо создавать вручную.

В другом пилотном проекте ряд инструментов для определенного типа станка, которые ранее маркировали вручную, присвоили метки радиочастотной идентификации, чтобы было проще определять их местонахождение. Каждую геопозицию связали с определенным статусом («используется», «на складе», «в ремонте»). Однако эта информация не была введена в систему управления производством (MES) компании.

#### Децентрализованная (предварительная) обработка данных датчиков

Помимо датчиков и активаторов, ключевыми компонентами киберфизических систем также являются встроенные системы. Они образуют связь между коммуникационным уровнем и электромеханическими компонентами (активаторами). Увеличение вычислительной мощности и уменьшение размера транзисторов обеспечивают возможность создания еще более мелких и дешевых элементов. Благодаря этому становится возможной децентрализованная (предварительная) обработка, которая выполняется непосредственно во встроенных системах, связанных с техническими ресурсами. Сокращение задержки распространения сигнала подразумевает более быстрое выполнение вычислительных операций, требующих немедленной обработки, что делает возможным применение этих технологий в новых областях, например в сфере человеко-машинного взаимодействия. Встроенные системы могут быть развернуты различными способами. Так, собственные встроенные процессы уже стали нормой для станков и оборудования, и соответствующие технологии находят все большее применение в инструментах и транспортном оборудовании.

#### 4.1.2 Структурированная коммуникация

Пригодность централизованных систем управления все больше ставится под сомнение по мере увеличения количества решений, которые необходимо принимать. Растущая сложность подразумевает, что управление централизованными системами становится все более сложным. Следовательно, децентрализованные цепи управления, которые уже использовались для оптимизации многих технических процессов, укореняются на уровне бизнес-процессов. Внедрение этих цепей управления может иметь положительное влияние на динамичность и надежность бизнес-процессов. Однако для достижения соответствующих целей все заинтересованные лица должны работать сообща, чтобы наладить работу целевых систем.<sup>15</sup> Следовательно, ключевым требованием является использование коммуникационных технологий для создания временных сетей, обеспечивающих возможность взаимодействия ресурсов друг с другом.

Эффективная коммуникация между сотрудниками всегда должна оформляться документально с

возможностью отслеживания, не быть чрезмерной и соответствовать потребностям определенных групп заинтересованных лиц. Сотрудники по-прежнему проводят много времени в поиске и в ожидании информации. Отслеживаемая коммуникация означает, что контекст сообщения становится известным благодаря автоматической маркировке или что его можно просмотреть в реальном времени путем интеграции с соответствующей системой бизнес-управления. Избыточность можно предотвратить посредством централизованного хранения данных. Если имеется только одна действительная версия файла (единый источник достоверных данных), то вместо отправки файла получателю ему просто предоставляется разрешение на доступ к нему. Кроме того, в зависимости от должностных обязанностей и параметров доступа сотрудника, его можно либо включить, либо не включить в процесс коммуникации, а также, при необходимости, включить его задним числом. Подобные требования применимы к процедурам утверждения. Даже на сегодняшний день, чтобы санкционировать некоторые решения, зачастую требуется аналоговая подпись. Введение цифровых подписей делает процедуры утверждения более быстрыми и проницаемыми и даже обеспечивают возможность отзыва утверждений. Заинтересованные лица напрямую уведомляются об их статусе, а соответствующая информация может быть непосредственно связана с процедурой утверждения. ИТ-системы, поддерживающие этот тип коммуникации, называются средствами для совместной работы.

#### Интерфейс на основе задач

В человеко-машинном взаимодействии технологии идентификации и визуализации образуют основной интерфейс между реальным и цифровым мирами. Системы помощи становятся все более актуальными ввиду растущей сложности процессов и увеличения количества задач, которые должны выполнять сотрудники. Решения для автоматической идентификации обеспечивают возможность прямого распознавания объектов и их свойств. Вместе с графическим интерфейсом это позволяет предоставлять контекстно-зависимую информацию. Аппаратные интерфейсы играют ключевую роль в обеспечении возможности взаимодействия друг с другом разных типов технологических ресурсов. В будущем киберфизические системы необязательно будут обмениваться самоописаниями на разных уровнях пирамиды автоматизации: вместо этого такой процесс



будет происходить в рамках динамической сети.<sup>16</sup> Технологии идентификации дают возможность (взаимного) распознавания технологических ресурсов и людей, а также согласования конкретных требований к информации. При приобретении новых систем важно учитывать связанность их систем управления и датчиков. Это могут быть беспроводные или проводные решения, в зависимости от условий развертывания. Предпочтение отдается открытым интерфейсам во избежание зависимости от определенных производителей машин или инструментов. Кроме того, на предприятии должна быть установлена соответствующая инфраструктура (например, промышленная инфраструктура на базе локальной компьютерной сети). Для существующих систем становится доступным все большее количество решений для модернизации, благодаря которым появляется возможность их интеграции.<sup>17</sup> Помимо связанности между внутренними системами, эти решения также обеспечивают возможность подключения к Интернету. Это особенно важно, поскольку таким образом сотрудники, выполняющие техническое обслуживание и производственное планирование, могут делать это посредством удаленного доступа к станкам и оборудованию. Тот же самый принцип применим к материалам – при наличии достаточного количества точек формирования отчетов можно отслеживать объекты, если возможна их автоматическая идентификация либо за счет носителя, либо с помощью идентификаторов на самих объектах. В комплексе с интеграцией систем (см. раздел об информационных системах) это позволяет удовлетворять растущие потребности клиентов в отношении отслеживаемости продуктов. Тот же самый принцип применим к материалам – при наличии достаточного количества точек формирования отчетов можно отслеживать объекты, если возможна их автоматическая идентификация либо за счет носителя, либо с помощью идентификаторов на самих объектах. В комплексе с интеграцией систем (см. раздел об информационных системах) это позволяет удовлетворять растущие потребности клиентов в отношении отслеживаемости продуктов.

Способность компании определить эти требования к информации и выбрать соответствующие технологии

является решающим фактором во всех этих процессах. При выполнении интеграции процессов важно принимать во внимание практичность и аспекты эргономики. Более подробная информация о человеко-машинном интерфейсе представлена в главе 4.2.1.

### 4.1.3 Заключение

На Рис. 9 показаны характеристики, которыми должны обладать ресурсы производственной компании после достижения такого этапа зрелости, как «самокоррекция». Профиль профессиональной квалификации сотрудников должен включать обширные ИТ-навыки. В технологические ресурсы должен быть добавлен уровень обработки данных, чтобы управлять подключенными датчиками и активаторами и получать обратную связь. Взаимодействие ресурсов позволяет обобщать эти данные и способствует созданию цифровой модели. Необходимо наладить коммуникацию в режиме «человек-человек», «машина-машина» и «человек-машина», чтобы обеспечить возможность обмена данными и информацией в реальном времени и чтобы в процесс коммуникации были включены все группы заинтересованных лиц.

## 4.2 Информационные системы

Информационные системы<sup>18</sup> – это социально-технические системы, в которых информация предоставляется на основе экономических критериев как людьми, так и информационно-коммуникационными технологиями. Они обеспечивают подготовку, обработку, хранение и передачу данных и информации. Конфигурация информационных систем компании является залогом использования доступных данных и информации для принятия решений. Благодаря достижениям, касающимся цифровизации предприятий, производственным компаниям становится все проще принимать решения, основанные на данных, в реальном времени с помощью цифровой модели. Однако руководящие работники многих предприятий по-прежнему не используют эти данные и информацию для принятия решений. Это обусловлено двумя причинами.

16 | См. Bauernhansel с соавт. 2016.

17 | См. Ciupek 2016.

18 | В этом исследовании проводится различие между информационными системами и ИТ-системами. Термин «ИТ-системы» описывает системы индивидуального применения (например, ERP-системы), тогда как под «информационными системами» подразумеваются социально-технические системы, определение которых приведено выше.

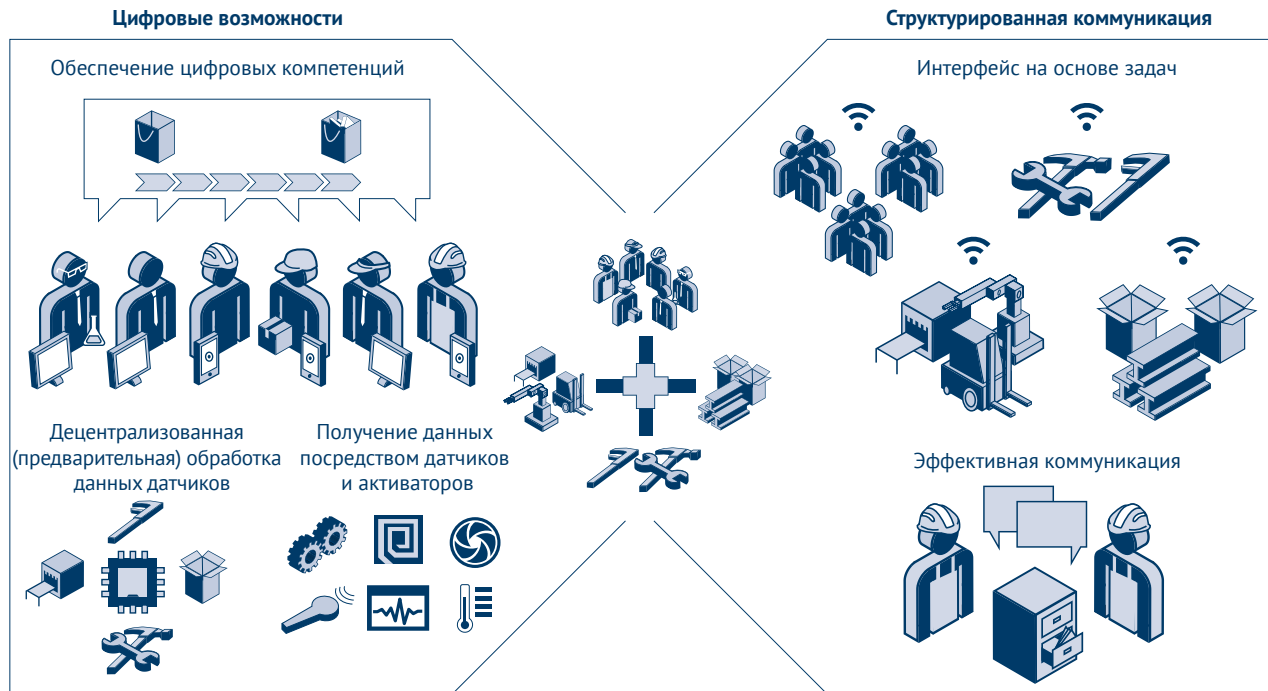


Рис. 9. Характеристики, необходимые в структурной области «ресурсы» (источник: авторская схема)

Во-первых, полученные данные не преобразуются в информацию, и, поскольку данные не предоставляются в подходящей форме, сотрудники не могут использовать их в своей работе. Так каким же образом полученные данные могут подготавливаться и предоставляться сотрудникам, чтобы они могли принимать решения, руководствуясь такими данными? Чтобы данные были полезны в принятии решений, а также чтобы их можно было анализировать и преобразовывать в информацию, они должны предоставляться в порядке, удобном для пользователя. Следовательно, первый принцип информационных систем заключается в необходимости **подготовки и обработки данных таким способом, который позволил бы применять их при принятии решений**. Чтобы данные были полезны, организация должна соответствовать техническим требованиям для обеспечения к ним доступа в реальном времени и иметь инфраструктуру, которая обеспечивает возможность необходимой обработки данных и беспрепятственного предоставления информации.

Во-вторых, централизованные данные не используются в различных частях компании. Только

интеграция систем позволит использовать общие данные по всей цепочке добавленной стоимости. Для достижения этой цели, необходимо создать системную архитектуру для гибких компаний с центральной платформой, в которой существующие ИТ-системы будут подключены друг к другу и к другим ресурсам. Благодаря этому все будут использовать одни данные, при этом данные будут представлены в единой, основной информационной системе (едином источнике достоверных данных), а не дублироваться в разных ИТ-системах. Следовательно, второй принцип заключается в **интеграции для более грамотного использования данных и повышения гибкости**. Для создания платформы, соединяющей разные информационные системы, требуются стандартные интерфейсы, гибкость, открытость, всеобъемлющая ИТ-безопасность и соответствующее качество данных.

На Рис. 10 показано развитие информационных систем с использованием принципов обработки информации и интеграции.



Рис. 10. Характеристики структурной области «информационные системы» (источник: авторская схема)

#### 4.2.1 Обработка информации с алгоритмом самообучения

Принцип обработки информации включает сбор данных для создания информации и предоставления материалов для поддержки принятия решений, чтобы они были основаны исключительно на данных. Для этого компаниям нужно воспринимать данные и информацию как ресурс, который обеспечивает создание ценности, а также обрабатывать эти данные и информацию и делать их доступными своим сотрудникам.

##### Автоматизированный анализ данных

Принятие решений на основе данных обеспечивается за счет автоматизированного анализа данных, который позволяет непрерывно собирать данные для создания информации, извлекать знания из этой информации и предоставлять пользователю сведения, помогающие в принятии решений. Для этого требуется автоматический анализ данных, который позволяет выявлять причинно-следственные связи с использованием данных из разных источников, а также прогнозировать будущие события, например с помощью моделирования или возвращения к прежнему состоянию. Для сбора данных, из которых можно извлечь ценную информацию, требуется непрерывный мониторинг потоков данных в реальном времени в соответствии с определенными правилами и взаимозависимостями. Один из простых примеров применения — непрерывный анализ различных параметров машин и инструментов, позволяющий, к примеру, с высокой степенью уверенности прогнозировать сбои машин или проблемы с качеством. Этот процесс часто называют «мониторингом состояния».

В гибких компаниях решения, основанные на данных, также часто принимаются на уровне производства в целом. Примером такого решения является определение того, какое влияние на своевременную поставку окажет назначение приоритетов конкретным заказам или временная остановка станка для технического обслуживания. Другими словами, автоматизированный анализ данных необходим не только на уровне машин и инструментов, но и на уровне производства в целом. Поскольку соответствующие потоки данных гораздо длиннее, обширнее и разнообразнее, анализ данных на этом уровне включает обработку и взаимосвязь огромных и зачастую неоднородных массивов данных. Следовательно, компаниям нужны приложения и технологии, способные выполнять этот тип обработки.

Также важно, чтобы анализ данных не ограничивался уже известными причинно-следственными связями — компаниям следует продолжать изучать и выявлять новые модели в данных, которые они получают. При возникновении непредвиденных событий, например поломки машин или срыва сроков поставки, требуется анализ причин и их интерпретация на основе соответствующих данных. После выявления доказанной взаимосвязи она может служить в качестве новой модели для дальнейшего использования.

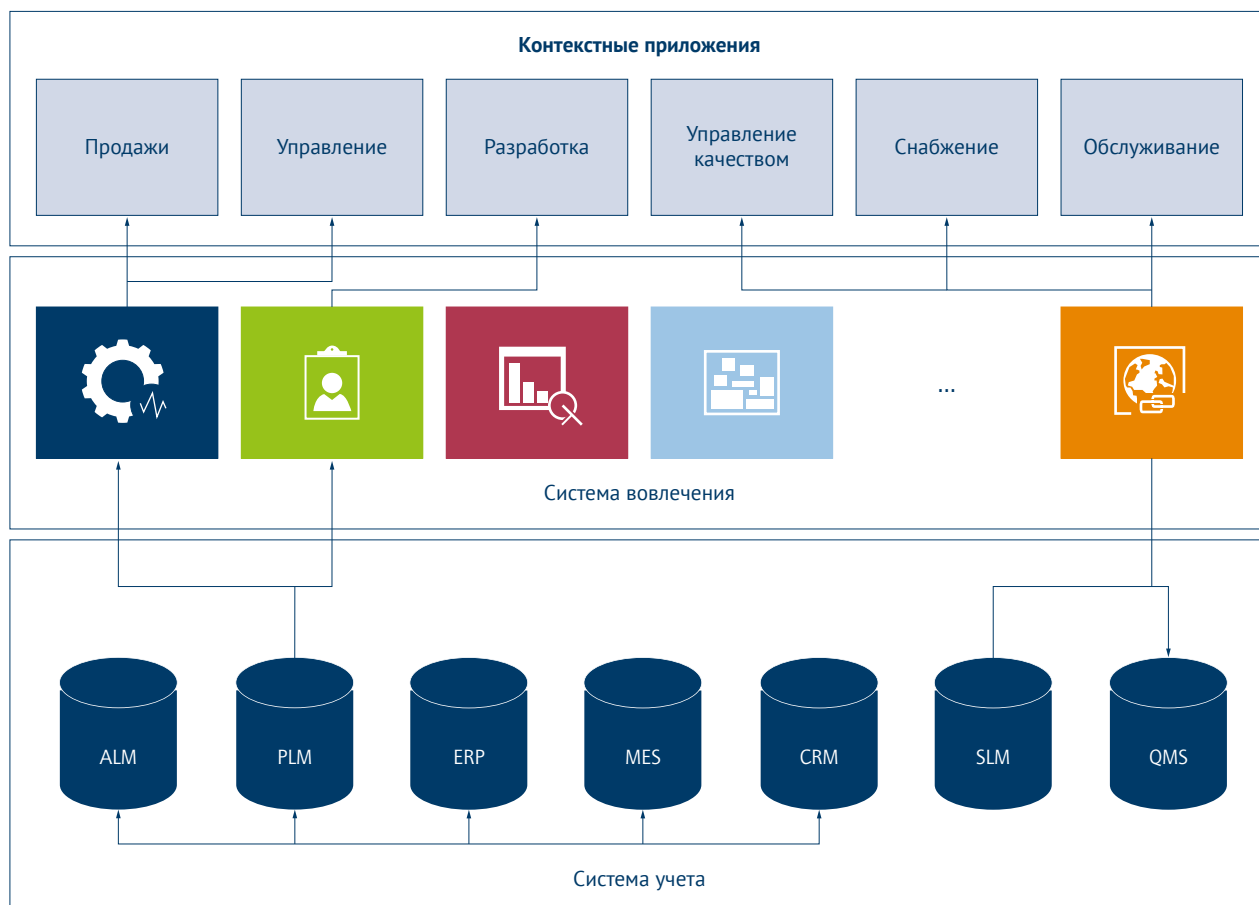
Повторяющиеся события могут использоваться для формирования предположений о том, как данные изменятся в будущем. В алгоритмах оптимизации интегрируются сведения о последствиях, к примеру, прогнозируемой поломки (таких как задержка сроков поставки) и автоматически создаются соответствующие рекомендации.



Предоставление контекстуализированной информации позволяет использовать результаты анализа данных в принятии решений. Это означает, что пользователю не нужно выполнять поиск информации в нескольких разных ИТ-системах и самостоятельно ее обрабатывать, сортировать и интерпретировать — информация подготавливается и предоставляется в соответствии с требованиями конкретного контекста (принцип предоставления информации без запроса). В успешных компаниях применяется принцип «системы вовлечения», согласно которому информирование сотрудников осуществляется с помощью эффективной системы передачи информации: информация передается в нужное место и время, в нужном качестве и количестве именно тому человеку, которому она

предназначена. Так, понятная визуализация сложной сборочной операции может быть представлена с помощью контекстной 3D-анимации. К другим примерам передачи информации относится предоставление отделу управления производством данных о прогнозируемых датах выполнения заказа или предоставление обслуживающему персоналу сведений о причине поломки наряду с дополнительной детальной информацией.

С помощью приложений возможно предоставление только актуальной информации (см.Рис. 11). Приложение получает необходимую информацию из лежащих в основе ИТ-систем, чтобы сотруднику передавалась только та информация, которая необходима для выполнения текущей задачи.



Характеристики

Рис. 11. Взаимодействие и сотрудничество с пользователями (система вовлечения) вместо линейных бизнес-процессов (система учета) (источник: авторская схема)



#### Пользовательские интерфейсы для конкретных задач

Предоставляемая информация должна постоянно приводиться в соответствие с потребностями получателя, а ее формат – адаптироваться к текущему использованию. Ее содержание и форма представления должны быть приспособлены к выполняемой задаче и уровню навыков сотрудника. В зависимости от способа применения, данные в пользовательских интерфейсах могут быть представлены, к примеру, в форме таблиц, анимации, дополненной реальности или речи. Другими словами, помимо отображения данных сотрудникам также могут предоставляться устные инструкции, которые помогут им в процессе работы. Для пользователей предусмотрены интуитивно понятные варианты реагирования на события и коммуникации с ИТ-системами. В зависимости от задачи, может использоваться управление жестами или голосовое управление.

#### Создание отказоустойчивой ИТ-инфраструктуры и внедрение ситуационного хранилища данных

Анализ и предоставление данных опираются на отказоустойчивую ИТ-инфраструктуру, которая отвечает соответствующим требованиям к сбору, передаче, хранению и обработке технических данных и гарантирует функциональность ИТ-систем. Для этого требуется постоянная адаптация технических характеристик ИТ-инфраструктуры к текущим требованиям. Этот процесс выполняется посредством хранилища избыточных данных или проекта системы. В зависимости от проекта, резервирование может осуществляться внутри системы или в облаке. Средства резервного копирования или специализированное программное обеспечение предотвращают угрозы для людей и материальных активов и гарантируют длительное использование системы. Ситуационное хранилище данных обеспечивает возможность доступа к данным в течение необходимого промежутка времени. С помощью баз данных в памяти становится возможным частый доступ к данным и их использование для предоставления быстрой и стабильной помощи в принятии решений.

### 4.2.2 Интеграция информационных систем

Интегрированные информационные системы направлены на использование общих данных на всем протяжении цепочки создания ценности. Цель принципа

интеграции заключается в интеграции существующих ИТ-систем для предоставления доступа информации и данным, содержащимся в них, и их использования.

#### Вертикальная и горизонтальная интеграция информационных систем

Использование общих данных по всей цепочке создания ценности обеспечивается информационными системами, полностью интегрированными как вертикально, так и горизонтально. Обмен информацией осуществляется непрерывно между всеми ИТ-системами в цепочке создания ценности, благодаря чему информация о заказе всегда связана с инструкциями в отношении продукта, работы и процессов, а также с информацией о клиентах, и все пользователи имеют доступ к одним и тем же данным. Это знаменует уход от существующего положения – слишком сложных архитектур с необходимостью хранения избыточных данных. Основная ИТ-система, содержащая информацию о заказе, связывается со всеми остальными системами: от уровня производства и планирования до машин и систем работы в полевых условиях. После завершения задачи машины автоматически возвращают отчет со статусом заказа.

За счет этого создается «единый источник достоверной информации» – информация находится в одной основной системе логической информации, доступ к которой имеют все пользователи в цепочке создания ценности и системе учета. На сегодняшний день данные о продукте и проекте зачастую хранятся в системе PLM, тогда как данные о заказах находятся в системе ERP, а соответствующие данные клиентов – в системе CRM. Отсутствие интеграции метаданных означает, что для сотрудников в сфере разработки, производства и маркетинга предусмотрены свои собственные, отдельные массивы данных, при этом отсутствует эффективный обмен данными с приложениями связанных подразделений и инструментами поддержки принятия решений. В результате сведения об изменениях в одной из этих областей не передаются сотрудникам в других областях. Следовательно, гибким компаниям требуется логическая или физическая платформа для интеграции и предоставления пользователям информации, необходимой для производственной деятельности и принятия решений, а также предоставления доступа к данным и информации. Кроме того, важно обеспечить прозрачность в



отношении развертываемых ИТ-систем: разные отделы не должны использовать собственные теневые ИТ-системы, не контролируемые ИТ-отделом.

#### Стандартизация интерфейсов данных

Ключевым условием для создания единого источника достоверных данных является подключение всех ИТ-систем друг к другу посредством стандартных интерфейсов данных вместо централизованного хранения всех данных. API-интерфейсы, микросервисы и интерфейсы данных способствуют обмену данными и информацией между отдельными ИТ-системами. Следовательно, их нужно выбирать с учетом необходимого потока информации. Чтобы обеспечить быстрый информационный поток и переход к обмену данными при переключении с одной информационной системы на другую, необходимо внедрить нейтральные или стандартные интерфейсы и форматы обмена данными между всеми соответствующими системами.<sup>19</sup> В них должен использоваться открытый стандарт, универсальный для соответствующей категории применения. Одним из примеров стандартного интерфейса, особенно популярного в сфере Индустрии 4.0, является архитектура OPC-UA<sup>20</sup> для интерфейса типа «машина-машина».

#### Реализация управления данными

Помимо интерфейсов передачи данных, интеграция ИТ-систем также зависит от достаточно высокого качества данных. Плохое качество данных в ИТ-системах приводит к некорректным совокупным данным и неточной обратной связи, что в конечном итоге подрывает доверие как к ИТ-системам, так и к их содержимому. Все это не позволяет достичь цели, то есть принимать решения на основе данных. Следовательно, компаниям необходимо приобретать соответствующие технические и, в частности, организационные возможности для улучшения качества данных. Политики управления данными представляют собой руководство для организаций по обработке, хранению и представлению данных высокого качества в рамках компании, а также управлению ими. К техническим возможностям улучшения качества данных относится автоматическая очистка данных (идентификация, стандартизация, удаление копий, объединение и улучшение качества данных) и системы управления основными данными.

#### Расширение ИТ-безопасности

Растущая интеграция информационных систем, которая зависит также от человеческого фактора и других причин, сопровождается риском преступных атак. Потенциальный ущерб от этих атак может возрастать пропорционально степени интеграции. В ИТ-безопасности предусмотрены разные стратегии для определения и реализации мер безопасности. Соответствие стандартам, таким как IEC 62443, способствует подавлению таких рисков. Такие стандарты включают профилактические меры по поддержке ИТ-безопасности и ее адаптации согласно меняющимся обстоятельствам. К подобным мерам относится разрешение проблем с управлением активами, идентификация и аутентификация пользователей, проверка состояния системы и управление потоком данных. Также в стандартах ИТ-безопасности содержатся сведения об ответных мерах на существующие инциденты, связанные с ИТ-безопасностью.

#### 4.2.3 Заключение

На Рис. 12 показаны характеристики, которыми должны обладать информационные системы компании после достижения 6-го этапа зрелости – «самокоррекции». Для данных высокого качества предусмотрено централизованное сочетание горизонтальной и вертикальной интеграции и стандартных интерфейсов способствует созданию гибких информационных систем.

### 4.3 Организационная структура

Преобразование в постоянно развивающуюся, гибкую компанию становится возможным благодаря описанным выше технологиям, однако для реализации этого процесса требуется надлежащая организационная структура. В нашей модели под организационной структурой подразумевается как внутренняя организация (структура и операционные процессы), так и положение компании в сети создания ценности. В противоположность такой области, как «культура» (см. ниже), «организационная структура» устанавливает обязательные правила для организации сотрудничества как внутри компании, так и вне ее. «Культура» охватывает ценностную систему внутри компании и, таким образом, представляет «мягкие» факторы

19 | См. Schuh с соавт. 2014, стр. 288 и далее.

20 | OPC Unified Architecture (OPC UA) – протокол передачи данных, независимый от платформы, для передачи данных в режиме «машина-машина».

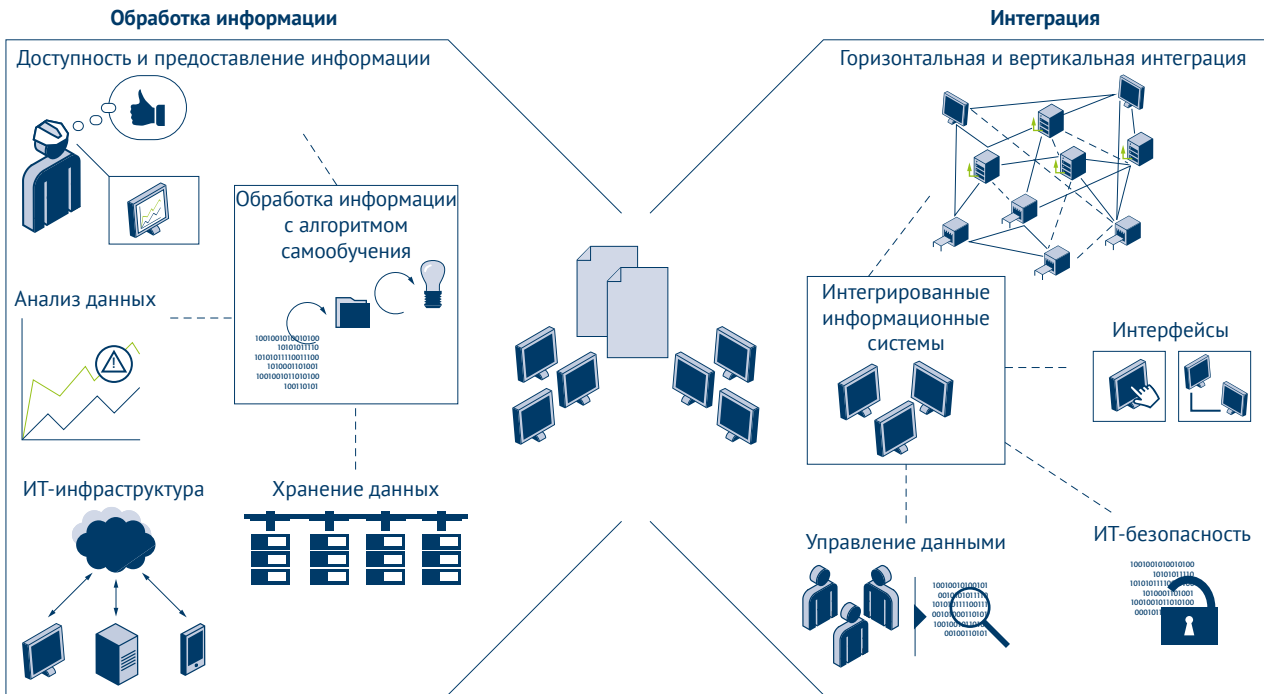


Рис. 12. Характеристики, необходимые в структурной области «информационные системы» (источник: авторская схема)

сотрудничества. Тем не менее, обе эти структурные области являются взаимозависимыми и должны быть согласованы друг с другом.

В структурной области «организационная структура» действуют два принципа: органической внутренней организации и динамического сотрудничества в сети создания ценности. Следовательно, она описывает организацию с внешней и с внутренней перспективы (см. Рис. 13).

### 4.3.1 Органическая внутренняя организация

Органическая организация – полная противоположность механистической организации. Ее сотрудники сталкиваются с меньшим количеством ограничений и наделены более высокой индивидуальной ответственностью. Ввиду этого такая форма организации особенно хорошо подходит предприятиям с высококвалифицированными кадрами, осуществляющим деятельность в динамичной среде.<sup>21</sup>



Рис. 13. Характеристики структурной области «организационная структура» (источник: авторская схема)

21 | См. Burns/Stalker 2001.

### Гибкие сообщества

В гибкой организации требуется динамичность необходимых ресурсов компании. В контексте организационной структуры компании это означает, что сотрудникам будет необходимо регулярно менять выполняемые задачи и переключаться на другие команды. Несмотря на то, что они по-прежнему будут закреплены за определенным отделом в организационной схеме компании, на практике они будут выполнять свою работу как члены команд, ориентированных на осуществление конкретной задачи или цели. В то же время компании необходимо способствовать сотрудничеству между специалистами по конкретным вопросам, создавая параллельные команды специалистов для решения определенных задач. Этот подход направлен на улучшение коммуникации между разными отделами и объединение навыков сотрудников.<sup>22</sup> В результате применения этого подхода образуется концепция сообществ, в которой организационные единицы формируются для решения конкретного вопроса (например, реализации нового ИТ-решения) или задачи (например, управления фрезерными станками). Тогда как постоянные сообщества могут выполнять повседневную работу компании, другие сообщества могут быть ориентированы на выполнение определенного проекта или объединяться на временной основе перед тем, как будут вновь расформированы. Цель такой формы организации состоит в том, чтобы обеспечивать выполнение работы сотрудниками, обладающими необходимыми навыками, независимо от их положения в иерархии или принадлежности к определенному отделу. Также это позволяет быстро реагировать на новые события и информацию. В таких компаниях, как Google, нет ничего необычного в том, что маленькие команды спонтанно объединяются для решения определенного вопроса и создают прототип, который затем оценивают на предмет необходимости дальнейших действий, за несколько дней или недель.

Такой форме организации присущи определенные ограничения. Очевидно, что в результате такой концепции не должно страдать эффективное выполнение повседневных задач. Следовательно, для процессов, требующих высокой эффективности и стабильности, уровень гибкости должен быть ограничен. Преимущества этой концепции главным образом

затрагивают инновации и задачи, направленные на решение определенных проблем. В таких случаях можно использовать самые сильные навыки сотрудников, если они могут быть гибкими, участвуя в разных сообществах. Гибкие организации способны к быстрой адаптации не в ущерб постоянным процессам.<sup>23</sup> Внедрение этого типа организации делает роль руководства более сложной, поскольку каждый сотрудник активно работает в своем определенном ряде сообществ, которые, сверх того, регулярно меняются. Платформы для совместной работы на базе ИТ могут обеспечивать прозрачность профессиональных навыков сотрудников и их участия в сообществах, а также облегчать коммуникацию и назначение рабочих задач. Руководству также необходимо принимать во внимание новые технологии, благодаря которым становится возможной работа таких гибких сообществ. Это могут быть интуитивные контекстные 3D-решения, которые серьезно повышают скорость обучения, или решения на основе дополненной реальности, которые помогают работникам освоиться в новых видах деятельности.

### Управление правами на принятие решений

При наделении полномочиями принятия решений или выборе оптимальной процедуры принятия решений необходимо тщательно взвесить два противоположных фактора. Очевидно, что для принятия правильного решения должна быть доступна вся соответствующая информация. При принятии децентрализованных решений местные работники, ответственные за принятие решений, лучше осведомлены о фактических обстоятельствах, поскольку они более приближены к фактам. Достижение такого же качества при централизованном принятии решений обходится дороже за счет стоимости передачи информации на центральный уровень. С другой стороны, децентрализованные решения также влекут за собой определенные издержки из-за того, что они недостаточно согласованы друг с другом и, следовательно, могут не учитывать то, что было бы наилучшим вариантом для компании в целом, или же из-за необходимости в дополнительном участии руководства для согласования таких решений с общими целями компании. Следовательно, определенные решения должны приниматься централизованно, например решения, касающиеся

22 | См. Jassawalla/Sashittal 1999; Love/Roper 2001.

23 | См. McGrath 2012.



стратегии компании, тогда как другие решения могут быть более экономически эффективными при их принятии в децентрализованном порядке.<sup>24</sup>

Одним из преимуществ Индустрии 4.0 является большая доступность информации. Это означает, что даже на децентрализованном уровне можно достичь прозрачности в отношении последствий решений и их соответствия целям компании для более быстрого и эффективного принятия решений в децентрализованном порядке. Также могут применяться процессы коллективного принятия решений. Под этим подразумевается совместная работа с заинтересованными лицами в компании, которые наиболее компетентны для принятия решений по соответствующему вопросу.<sup>25</sup> Например, можно выбрать членов экспертных сообществ путем проведения своего рода экспертной оценки кандидатов. Подобным образом можно оценить потенциал новых проектов разработок посредством привлечения всех сотрудников, а не только нескольких руководителей. Компаниям необходимо научиться управлять правами на принятие решений для того, чтобы найти золотую середину между централизацией и децентрализацией: так их процессы принятия решений станут максимально эффективными.

#### Мотивационные системы достижения целей

Чтобы повысить автономию сотрудников, направить ее в нужное русло и обеспечить их сосредоточенность на общей цели компании – повышении ценности для клиента, необходимы соответствующие системы целей.<sup>26</sup> Поверхностные цели, которые оцениваются однобоко (например, количество изготовленных единиц продукции), приводят к локальной оптимизации и ограниченности мышления. Вместо этого компаниям необходимо представить многомерные системы целей, побуждающие сотрудников сосредотачиваться на эффективности процессов и постоянном совершенствовании. Для этого требуется развитие совершенно новых компетенций, таких как финансовый контроль сообществ или оценка эффективности команд специалистов. Например, для сотрудника, работающего в сфере разработок, можно поставить цель проводить определенное количество

презентаций на конференциях с участием сторонних специалистов. Это станет целенаправленным средством побуждения сотрудника к тому, чтобы подвергать свои идеи критической оценке сторонними лицами.

Системы целей тесно связаны с системами вознаграждения. Их миссия не должна заключаться в создании организации исключительно коммерческого характера, в которой зарплата сотрудников является единственным мотивирующим их фактором.<sup>27</sup> Совместно системы целей и вознаграждения призваны обеспечить сотрудникам определенную степень безопасности и уверенности в том, что иногда они могут допускать ошибки, в то же время мотивируя их использовать все свои навыки на благо организации. Для этого нужно правильное сочетание материальных и нематериальных стимулов, таких как возможность обучения, перспективы развития и личная свобода.<sup>28</sup>

#### Гибкое руководство

Ввиду отсутствия гибкости традиционные процессы развития не могут справиться с расплывчатыми или меняющимися требованиями динамичной бизнес-среды. Вместо этого необходимы подходы, характеризующиеся быстрой разработкой прототипов, конкретными (промежуточными) результатами и постоянным обменом обратной связью с заинтересованными лицами. Один из принципов гибких проектов разработок заключается в необходимости как можно раньше проверять предположения и гипотезы о продукте или результате в реальной среде. Сюда относится акцент на основных функциональных возможностях продукта для подготовки так называемого «минимально жизнеспособного продукта» (MVP).<sup>29</sup> Минимально жизнеспособные продукты – это пригодные для реализации продукты с ограниченной функциональностью, которые можно протестировать непосредственно на рынке. Это обеспечивает возможность систематической и быстрой дальнейшей разработки продукта на основании отзывов клиентов.

Эти подходы можно применять не только к разработке продуктов и услуг, но также к управлению внутриорганизационными проектами. Физические

24 | См. Jensen 1998.

25 | См. Schulte-Zurhausen 2014, стр. 207 и далее.

26 | См. Andersen с соавт. 2006.

27 | См. Grunau 2014.

28 | См. Sturm с соавт. 2011; Afshari/Gibson 2016.

29 | См. Ries 2011.

производственные процессы можно сравнивать с цифровыми моделями для выявления возможностей дальнейшего улучшения. Еще один пример такого процесса – методология «скрам» (Scrum), появившаяся в сфере разработки программного обеспечения.<sup>30</sup> Этот процесс ускоряет реализацию инициатив по постоянному улучшению. В рамках этой методологии инновации разрабатываются на основе данных по принципу «начать с малого и стремительно развивать».

Интеллектуальные продукты, чьи функции все чаще реализуются на базе программного обеспечения, поддерживают этот подход: они позволяют в больших масштабах отслеживать поведение реальных пользователей с помощью данных. Эта информация помогает в дальнейшем улучшать, активировать или даже удалять функции продукта. Интегрированный системный ландшафт также действует в качестве катализатора для использования подобных методов в рамках самой компании. Так, сведения об изменениях в проекте продукта могут автоматически передаваться всем заинтересованным лицам (например, в форме пересмотренных сроков выполнения).

#### 4.3.2 Динамичное сотрудничество в сети создания ценности

Автоматизированный и слаженный обмен информацией между разными компаниями позволяет им более динамично сотрудничать друг с другом и обеспечивает большую прозрачность в отношении рынка. Информирование также помогает устранить некоторые барьеры на пути к большей гибкости, такие как совершаемые вручную процессы создания заявок, формирования заказов и их обработки. Также может быть расширен операционный контроль, включающий сведения о производственном статусе поставщика и показателях качества с использованием современных технологий Интернета вещей. В результате становится возможным более эффективный обмен информацией, товарами и услугами.

##### Акцент на преимуществах для клиента

В соответствии с концепцией ключевых компетенций<sup>31</sup> или «стратегического положения для достижения успеха»<sup>32</sup>, чтобы представить рынку уникальное

предложение, компании должны четко ориентироваться на узкий набор профессиональных компетенций. Эта концепция приобретает все большее значение по мере того, как растет прозрачность рынков и создание ценности становится все более динамичным и осуществляется по принципу сетевой работы. Динамичный рынок представляет собой идею, которая обретает все большее значение. Поставщики, достигающие успеха на проницаемом рынке с хорошо функционирующими рыночными механизмами, – это те, которые могут лучше всего удовлетворять индивидуальные требования.

В частности, компаниям необходимо определить, какой вклад они могут вносить в удовлетворение потребностей конечных клиентов. Даже если компания сама по себе не сотрудничает с конечным клиентом, ее продукты или услуги все же являются частью предназначенного для него решения. Чем лучший вклад в это решение вносят отдельные партнеры, тем успешнее соответствующие компании смогут выделяться на фоне конкурентов. В качестве примера можно привести производителя роликовых подшипников, который ставит во главу угла не только непосредственные требования производителя машин, являющегося его прямым клиентом, но также то, как его подшипниковая продукция используется конечным пользователем машин. Анализируя данные о состоянии роликовых подшипников с помощью облачного решения, он может предоставлять конечному пользователю дополнительные услуги, которые помогут ему более эффективно эксплуатировать машину. Такое глубокое понимание требований конечного клиента также делает его более привлекательным на фоне конкурентов перед его непосредственным клиентом (производителем машин), так как это означает, что решение в целом в большей мере соответствует потребностям клиента.

Компаниям следует постоянно анализировать свои компетенции и при необходимости адаптировать их к изменившимся обстоятельствам. Кроме того, им необходимо четко установить, какую роль они должны играть в сети создания ценности. Целенаправленный вклад сотрудников, обладающих узкоспециализированными компетенциями, в общее решение и интеграция нескольких отдельных решений для создания единого общего решения потенциально могут оказаться успешными стратегиями.

30 | См. Reichwald/Piller 2009.

31 | См. Prahalad/Hamel 1990.

32 | См. Porter 1989; Pümpin/Amann 2005.



### Сотрудничество внутри сети

Компании могут осознанно принять стратегию передачи определенных производственных и транспортных операций либо позиционирования себя как поставщиков определенных компетенций в сети создания ценности.

Управление компетенциями относится к систематической интеграции разных компетенций партнеров.<sup>33</sup> Компании, в которых имеются компетенции, соответствующие конкретным потребностям, могут быстрее реагировать на меняющиеся требования рынка. Посредством совместной работы партнеры могут разрабатывать и поставлять новые продукты, которые они никогда не смогли бы предоставить своими силами или для которых сначала потребовался бы длительный процесс внутреннего наращивания компетенций.

На сегодняшний день уже существуют гибкие торговые площадки, контролирующие весь рынок, для менее сложных, стандартных услуг (например, в сфере логистики). Одна из сложных задач состоит в предоставлении очень точных описаний, необходимых для продажи услуг. В тех случаях, когда компании, не имеющие предыдущего опыта совместной работы, стремятся к сотрудничеству, невзирая на отсутствие доверия друг к другу, усилия, необходимые для обсуждения соглашения о совместной работе, могут перевесить преимущества краткосрочного и, возможно, однократного сотрудничества.

Технические средства защиты авторских прав играют важную роль в этом контексте. Налаженный обмен конфиденциальными данными, например моделями САПР, сопровождается риском использования данных не только по прямому назначению. Следует принимать меры предосторожности: убедиться, что необходимый доступ к данным предоставляется для определенной цели, например для использования модели САПР с целью создания запасной детали методом 3D-печати, только однократно, а не несколько раз.

### 4.3.3 Заключение

Компании могут приблизиться к цели, заключающейся в создании гибких, открытых торговых отношений, в первую очередь за счет более эффективного сотрудничества в существующих сетях. Катализаторами

для сотрудничества могут стать горизонтальная интеграция данных о заказах и универсальные платформы для обмена данными (например, для совместных проектов по разработке).

На Рис. 14 обобщаются ключевые аспекты структурной области «организационная структура» после достижения этапа зрелости под названием «самокоррекция». Слева показан взгляд изнутри отдельной компании. Эта концепция характеризуется гибкими структурами, такими как внутренние сообщества и гибкое руководство. Справа показан взгляд внешнего наблюдателя с использованием понятия торговых отношений, в которых цепочки создания ценности изменяются в зависимости от конкретного заказа.

## 4.4 Культура организации

Гибкость компании в значительной степени зависит от поведения ее сотрудников. Опыт с бережливым управлением в 1990-х и 2000-х годах показал, что залогом успешной реализации принципов бережливого управления во всем предприятии является изменение культуры компании — другими словами, изменение менталитета ее сотрудников. Это же применимо к цифровому преобразованию в развивающуюся, гибкую компанию в Индустрии 4.0. Компании не смогут достичь желаемой гибкости, если просто внедрят цифровые технологии без изменения корпоративной культуры. Вместо этого им следует начать с определения стратегии ведения деятельности компании в будущем и навыков, которые потребуются их сотрудникам. И только потом необходимо определить и внедрить технологии, необходимые для поддержки желаемого способа работы. Речь идет о цифровых системах поддержки. Само по себе внедрение таких систем не принесет пользы компании. Прежде чем цифровые системы поддержки начнут приносить пользу, компании необходимо обеспечить культуру, в которой сотрудники будут доверять этим системам и будут готовы принимать их предложения.

Во-первых, насколько сотрудники готовы постоянно оценивать и адаптировать свое собственное поведение в соответствии с меняющейся средой? В идеале к изменениям должен быть готов весь персонал. Кроме

33 | См. Schuh/Kampker 2011, стр. 504 и далее.



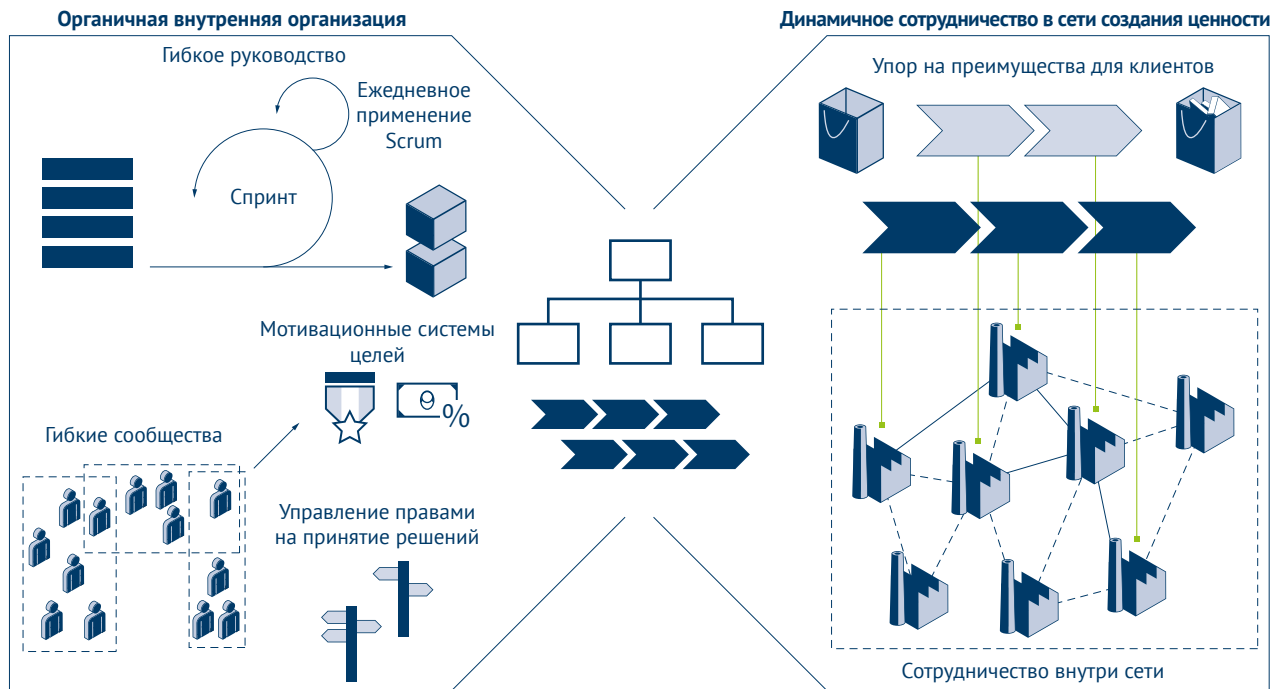


Рис. 14. Характеристики, необходимые в структурной области «организационная структура» (источник: авторская схема)

того, эта **готовность к изменениям** не должна ограничиваться ситуациями, в которых изменения уже реализуются. Что немаловажно, это предполагает, что люди должны отдавать себе полный отчет в собственном окружении и корпоративной среде, признавать возможность или необходимость изменений и самостоятельно принимать соответствующие меры. Готовность к изменениям – первый принцип культуры и ключевой инструмент реализации гибкости.

Во-вторых, насколько сотрудники осознают, что их действия должны руководствоваться знаниями, основанными на данных и фактах? В идеале им нужно быть убежденными в том, что их действия должны полностью основываться на знаниях. Термин «знания» охватывает любые знания, приобретаемые посредством целенаправленного наблюдения, в случайном порядке, путем анализа на основе данных или исходя из практического опыта. Среда, характеризуемая доверием и **социальным взаимодействием**, обеспечивает основу для открытого, непринужденного обмена знаниями между сотрудниками. Следовательно, второй принцип культуры, социальное взаимодействие, способствует обмену знаниями в компании.

#### 4.4.1 Готовность к изменениям

Первый принцип структурной области «культура» основан на пяти характеристиках, которые должны приобрести сотрудники постоянно развивающихся, гибких компаний. Эти характеристики не следует рассматривать в отдельности друг от друга – они обеспечивают готовность к изменениям только в сочетании друг с другом.

##### Признание пользы ошибок

Развивающиеся, гибкие компании осознают огромную важность ошибок. Эти компании поняли, что только ошибки способствуют обучению и изменениям. Ошибки позволяют получить лучшее понимание процессов компании и раскрывают ранее неизвестные причинно-следственные связи. Следовательно, отношение компании к ошибкам является ключевым аспектом ее корпоративной культуры. Существует два фундаментально разных подхода к ошибкам. Негативное отношение к ошибкам отражается в стратегии, основанной на систематическом уклонении от ошибок, строгих взысканиях за ошибки и максимально быстром и незаметном их исправлении. Сотрудники компаний, в



Рис. 15. Характеристики структурной области «культура» (источник: авторская схема)

которых преобладает эта культура, обычно не склонны рассказывать об ошибках. Такое отношение сдерживает их готовность к изменениям. С другой стороны, культура, в которой признается польза ошибок, характеризуется открытым обсуждением ошибок при их возникновении, систематическим их документированием и стремлением найти причины ошибок и их решения. При изучении ошибок чрезвычайно важно делать упор на понимании их причин, а не на поиске виноватых.

#### Открытость к инновациям

Всестороннее понимание сути работы новых технологий и подходов чрезвычайно важно для их интеграции на пользу компании. Преимущества инноваций не столь очевидны на первый взгляд, так как сначала люди незнакомы с лежащими в основе технологиями, поскольку ранее они не применялись в компании. В качестве примера можно привести использование систем поддержки на основе данных в сельском хозяйстве. Оптимизация маршрута уборочных машин на поле может повысить урожайность на целых 20 %. Различные системы, доступные на рынке, могут рассчитать оптимальный маршрут в зависимости от текущих природных условий и степени наполненности уборочной машины. Однако многие фермеры с неохотой относятся к изменению давно сформировавшихся привычек. В результате один производитель сельскохозяйственной техники решил бесплатно установить такую систему в порядке эксперимента. Благодаря этому фермер сам смог увидеть прямую выгоду и убедиться, что пришло время менять способ работы. Эксперимент показал ценность «скрытых» данных и полученной на их основании информации. Следовательно, открытость к инновациям

и новые способы ведения деятельности являются важной характеристикой, необходимой для инициации изменений и принятия соответствующих действий, даже если иногда они могут быть довольно нетрадиционными.

#### Обучение и принятие решений на основе данных

Иновационные циклы производственных компаний становятся все короче. Другими словами, у них меньше времени на разработку соответствующих ответов на изменения в бизнес-среде. Это также означает, что необходимо максимально быстро выявлять ошибки и их причины. Важно не руководствоваться интуицией, а получить основанное на данных понимание причин ошибок, чтобы предпринимать надлежащие меры для их исправления. Развивающиеся, гибкие компании в состоянии это делать, поскольку они непрерывно отслеживают свои процессы в цепочке создания ценности и получают необходимые данные. Затем они анализируют эти данные, зачастую сравнивая цифровую модель с физическими данными, и принимают какие-либо меры на основании результатов анализа. Их сотрудники доверяют данным, а также готовы учиться и основывать на них свои решения. Например, в Google решения сотрудников о новых действиях практически полностью основаны на полученных и проанализированных данных. Это возможно благодаря тому, что сотрудники привержены принципам непрерывного развития и осознают, что решения не должны быть основаны исключительно на индивидуальном опыте одного человека. Они понимают, что принятие решения на основании данных обеспечивает более быстрые и качественные результаты, чем применение опыта отдельных людей.



### Непрерывный профессиональный рост

Цифровизация индустрии радикально преобразует спектр навыков, необходимых сотрудникам производственных предприятий. Изменения в производственных технологиях и растущее использование информационно-коммуникационных технологий подразумевает более частое изменение необходимых навыков. Тогда как в прошлом существовал высокий спрос на специалистов, обладающих углубленными знаниями, в будущем будет расти потребность в мультиспециалистах. Это сотрудники, которые имеют междисциплинарное понимание взаимосвязанных процессов и могут за короткий срок приобрести необходимые специализированные знания. Такие сотрудники понимают, что некоторые навыки и знания, приобретенные ими в прошлом, будут полезными в течение ограниченного промежутка времени. Они отличаются желанием продолжать учиться на протяжении всей своей жизни. То, что они отслеживают изменение окружающей их среды, подразумевает их способность быстро замечать любые новые требования к обучению. Следовательно, они могут совместно разрабатывать программы обучения, ориентированные на необходимые компетенции и соответствующие потребностям сотрудников.

### Формирование изменений

Чем быстрее компания может должным образом реагировать на внешние события, тем большими будут преимущества изменений для тех, кого они затрагивают. Из этого следует необходимость в максимально быстрой инициации и реализации надлежащих изменений. Следовательно, требуется инициативный подход тех сотрудников, которые могут лучше других интерпретировать внешнее событие на основе имеющихся в их распоряжении знаний. Поскольку зачастую это могут быть сотрудники, которые наиболее приближены к соответствующей системе или машине, они необязательно имеют полномочия принимать решения. Таким образом, в числе важнейших требований – передача полномочий по принятию решений, наделение сотрудников большей свободой действий и предоставление персоналу, обладающему необходимыми техническими знаниями, возможности делиться ими. Вместе с тем важнейшим фактором является понимание сотрудниками того, что они также ответственны за формирование изменений. Им необходимо не просто согласиться с изменением, а стремиться инициировать

его по собственной воле и быть готовыми сделать первый шаг на пути к внесению изменения.

### 4.4.2 Социальное взаимодействие

Второй принцип структурной области «культура» основан на трех характеристиках. Принцип социального взаимодействия способствует ускорению обмена знаниями в организации и обеспечивается за счет сочетания этих трех характеристик.

#### Демократический стиль лидерства

Из-за растущей частоты изменений в окружающей среде решения о том, как на них реагировать, нужно принимать быстрее, но не в ущерб их качеству. Помимо доступности необходимых знаний, на основании которых следует принимать соответствующие меры, также важно обеспечить более быстрые процессы принятия решений для реализации этих мер. Внедрение более гибкого подхода к принятию решений и предоставление сотрудникам большей свободы действий создает организационную систему для более быстрых процессов принятия решений. Однако, помимо создания надлежащей структуры, для сотрудников столь же важно иметь уверенность друг в друге, чтобы решения не только быстро принимались, но и без промедления реализовывались. Сотрудников следует рассматривать не просто как ресурсы, а ценить их как часть сообщества за их профессионализм. Демократический стиль руководства – базовая характеристика, которая обеспечивает такую возможность.

#### Открытое общение

Чтобы компания быстро реагировала на непредвиденные события в окружающей среде, в идеале у ее сотрудников должен быть оперативный доступ к необходимым явным и неявным знаниям. Тогда как явные знания могут предоставляться посредством соответствующих коммуникационных технологий, для обмена неявными знаниями требуется прямое общение между людьми, обладающими такими знаниями, и людьми, которым они нужны. Например, при повреждении или поломке технологического оборудования обслуживающий персонал может получить доступ к большей части производственных параметров, необходимых ему для выполнения анализа, посредством соответствующих информационных систем (системы MES/ERP). Однако информацию от



операторов, непосредственно работающих с оборудованием, и данные, не зафиксированные датчиками, например об изменениях уровня шума, можно получить только при прямом общении между сотрудниками. Следовательно, сотрудникам необходимо прекратить мыслить категориями жестких иерархий и отказаться от менталитета «наше и ваше». Можно сказать, что сотрудники приобрели навыки открытого общения, если они не только поддержали идею, что открытый обмен знаниями и совместная работа для достижения поставленной цели повышает общий объем знаний, но и действуют соответствующим образом. Если все сотрудники организации готовы обмениваться знаниями друг с другом, это позволяет значительно ускорить процессы обучения в компании.

**Уверенность в процессах и информационных системах**  
Уроки, извлеченные из внедрения информационных технологий с 1970-х годов, показывают, что недостаточно делать упор исключительно на функциональных требованиях. Принятие и систематическое использование информационных технологий и систем может быть обеспечено только в том случае, если затронутый персонал будет вовлечен в процесс изменений с самого начала и сможет активно участвовать в формировании изменений. Помимо включения сотрудников в разработку соответствующих информационных систем, все сотрудники должны понимать, что преимущества этих информационных систем будут реализованы только в случае их систематического использования каждым работником. Уверенность сотрудников развивающихся, гибких компаний в выбранных процессах и информационных

системах обеспечивает быстрый обмен документально зафиксированными знаниями с учетом соответствующих ролей и контекста. Эта уверенность базируется на том факте, что сотрудники понимают, как принимаются решения в информационной системе, и признают конкретные преимущества ее рекомендаций. Однако в то же время они критически оценивают систему и хотят улучшить ее, используя собственные знания, в целях постоянного совершенствования.

#### 4.4.3 Заключение

На Рис. 16 показаны характеристики, которыми должна обладать культура производственной компании после достижения такого этапа зрелости, как «самокоррекция». Между сотрудниками, а также в отношениях с клиентами и партнерами наблюдается социальное взаимодействие. Уверенность в системах и процессах обеспечивает высокую стабильность процессов. Сотрудники готовы документально фиксировать приобретенные знания и делиться ими с другими. Демократический стиль лидерства побуждает ценить людей за их вклад и способствует культуре открытого общения. Кроме того, сотрудники отличаются восприимчивостью и готовностью к изменениям. Они систематически учатся с использованием полученных данных, открыты к инновационным подходам и участвуют в формировании процессов изменений. Кроме того, сотрудники осознают необходимость в постоянном развитии своих навыков и компетенций. Хотя ошибки все же допускаются, сотрудники признают их ценность, так как они открывают потенциал для улучшения.

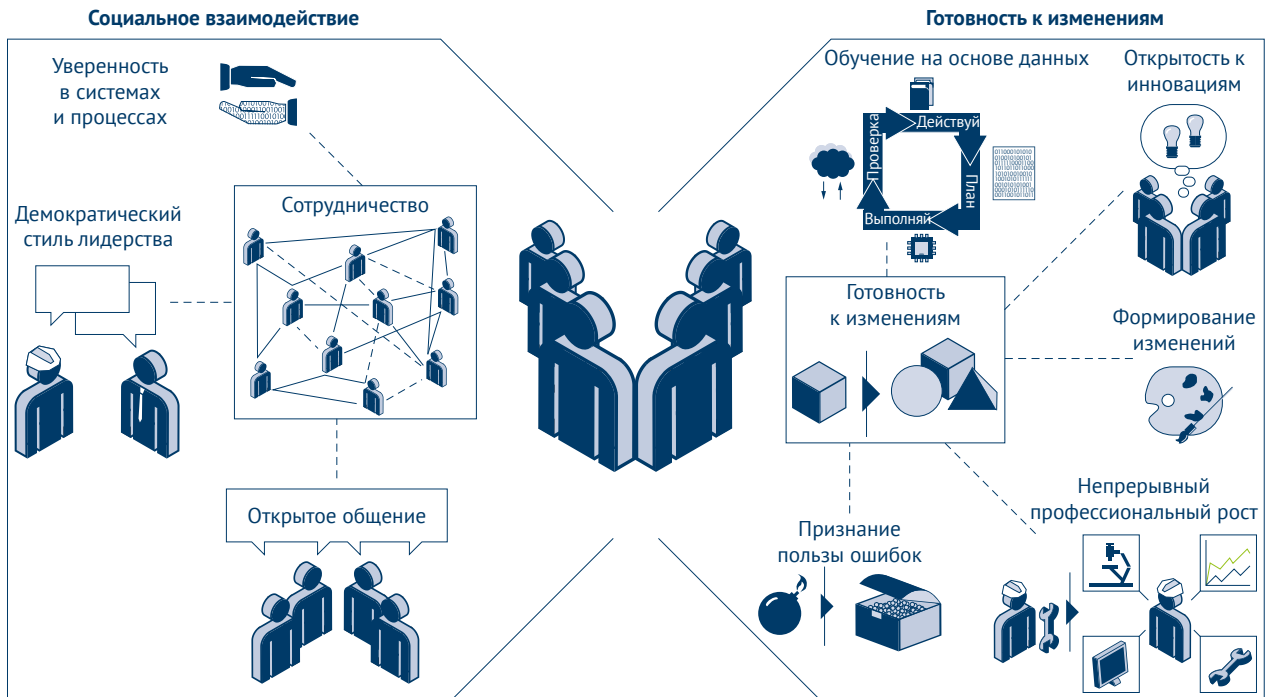


Рис. 16. Характеристики, необходимые в структурной области «культура» (источник: авторская схема)



## 5 Функциональные области в бизнесе

В Индексе зрелости Индустрии 4.0 acatech описанные выше характеристики рассматриваются отдельно для каждой из функциональных областей компании. Этапы зрелости каждой характеристики могут отличаться в зависимости от функциональной области и ее бизнес-процессов. В следующих разделах концепция постоянно развивающейся, гибкой компании применяется к пяти функциональным областям (см. Рис. 17). Описание ключевых характеристик каждой области разделено на четыре структурных направления. Чтобы эту модель было проще использовать, функциональные области рассматриваются на уровне составляющих их бизнес-процессов.

### 5.1 Разработка

Деятельность по разработке в производственных компаниях претерпевает коренные изменения по мере того, как технологические, культурные и организационные аспекты Индустрии 4.0 все глубже проникают в корпоративные процессы. Традиционная теория проектирования Паля и Бейца (Pahl & Beitz), а также подход к проектированию мехатронных систем, изложенный в стандартах VDI 2221 и VDI 2206, уступают место осознанию того, что не все

требования клиента могут быть известны или должным образом учтены в начале разработки. Сейчас, вместо работы с мыслью о точной модели готового продукта, все большее распространение получает работа с концепцией продукта, которая продолжает меняться в зависимости от новых требований и автоматизированных запросов на изменение в течение всего этапа разработки и даже после начала его использования.

#### Материальные и нематериальные ресурсы

В дополнение к высококвалифицированному персоналу, применяющему междисциплинарный подход в своей работе, основными ресурсами в разработке являются сами продукты. Компания продолжает держать в поле зрения продукт даже после его поставки клиенту, поскольку данные о его эксплуатации от пользователей обеспечивают информацию для дальнейшей целенаправленной разработки. Для этого необходимо, чтобы продукты умели собирать и передавать данные. Кроме того, некоторые функциональные возможности продукта могут обновляться и изменяться посредством программного обеспечения. Это открывает компании новые возможности для эффективного короткоциклового управления версиями: в продукты можно добавлять новые функциональные возможности спустя долгое время после их выпуска на рынок, а также быстро исправлять недостатки.

Еще одним ценным ресурсом являются аддитивные производственные процессы. Систематическая реализация этой технологии в соответствующих

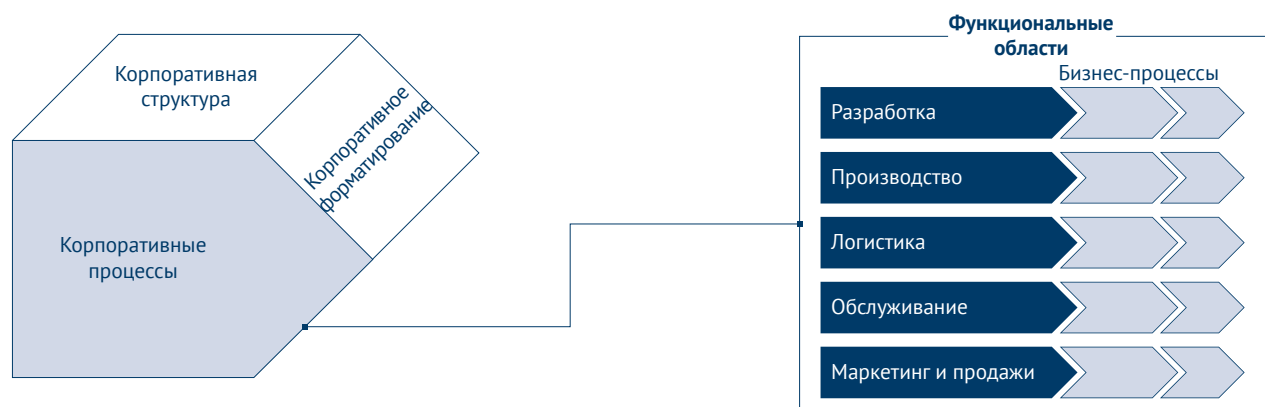


Рис. 17. Обзор функциональных областей (основано на следующем источнике: Voos с соавт. 2011)

процессах играет критически важную роль для быстрого и экономного создания прототипов и примотипов.

### Информационные системы

Разработка осуществляется маленькими междисциплинарными командами на виртуальных платформах для совместной работы разных компаний. Это требует создания полной цифровой модели процесса разработки в основной системе, например в системе PLM. Такой подход обеспечивает проницаемую картину функциональных тестов и зависимостей, требований и изменений компонентов в течение всего жизненного цикла продукта. Эта модель представляет собой цифровую модель компании. Запросы на изменения, касающиеся документально оформленных зависимостей, могут быть автоматизированными – это способствует значительному улучшению способности к реагированию в процессе разработки продукта.

Интеграция систем не ограничивается областью разработки. Взаимодействие с другими областями, прямо и косвенно связанными с этой сферой, обеспечивает доступность актуальной документации по продукту и отзывов о нем. Данные также предоставляются производственному отделу, чтобы у работников производства был доступ к последним версиям проектных документов, таких как чертежи и спецификации деталей. Благодаря этому команды по производству и сборке напрямую информируются об изменениях в продукте.

### Организационная структура

Методы гибкой работы, такие как Scrum, радикально изменяют процесс разработки не только программного обеспечения, но и абсолютно всех дисциплин. Благодаря им становится возможной реализация требований в коротких итерационных циклах с упором на отдельные аспекты концепции продукта. Цель состоит в том, чтобы максимально быстро тестировать ключевые гипотезы, не увязая в теоретической детализации продукта в начале процесса разработки. «Примотипы» обеспечивают конкретную аналитическую информацию на основе фактического использования и обратной связи пользователей. Эти прототипы, изготовленные с использованием процессов, близких к серийному

производству, направлены на реализацию концепции «минимально жизнеспособного продукта», а не просто на проверку функциональности. За счет этого отзывы клиентов могут быть включены в процесс разработки, чтобы установить конкретные требования клиентов, что значительно сокращает время, требуемое на реализацию продукта, и связанные с этим издержки. Выявление ошибок в начале процесса и извлечение из них уроков является неотъемлемой частью этого подхода.

Проектные решения для примотипов основаны на данных, а также на предположениях. Реальные данные от людей, использовавших продукт, и требования клиентов, представленные документально специалистами по маркетингу и продажам, дополняются официальными знаниями о проектировании, производстве и сборке, что обеспечивает возможность постоянного анализа данных с целью улучшения качества и экономичности продукта.

Также для успешной деятельности чрезвычайно важную роль играет междисциплинарное сотрудничество за пределами этапа разработки. Подходы, предполагающие системное проектирование и техническое обслуживание, становятся все важнее для систематического получения новых знаний за счет продукта на протяжении всего его жизненного цикла.

Модульная разработка продуктов способствует сотрудничеству с другими компаниями внутри сети. Партнеры разрабатывают функциональные модули вплоть до того момента, когда они становятся готовы к серийному производству. Однако в данном случае им также изначально предоставляются только общие спецификации (например, сведения о размерах продукта или намеченной цене), а подробные спецификации определяются в течение процесса разработки. Людям, работающим над модулями, очень важно применять междисциплинарный подход для разработки инновационных и эффективных решений. Цель заключается в том, чтобы ускорить процесс индустриализации продукта путем создания отдельных модулей, готовых к производству.<sup>34</sup>



### Практический пример: Lockheed Martin

Технологическая компания Lockheed Martin использует Digital Tapestry – полностью интегрированный электронный домен, объединяющий все элементы процесса разработки продукта в органичную цифровую среду. Такая полная техническая проработка цифрового продукта дает преимущества всему предприятию (специалистам по проектированию, ИТ, поставке, производству и т.д.). Digital Tapestry способствует инновациям и совместной работе. Эта программа помогла Lockheed Martin определить проблемы и выработать решения на этапе разработки концепции, что значительно сэкономило время и средства компании.

Lockheed Martin использует Digital Tapestry во многих программах в своей организации, занимающейся космическими системами, в том числе для космического корабля «Орион». Космический корабль «Орион» открывает новое поколение пилотируемых полетов в космос – с его помощью полететь в открытый космос и безопасно вернуться на Землю могут до четырех астронавтов. В рамках испытания в реальных условиях с NASA компании Lockheed Martin удалось получить свыше 200 ГБ данных, включая данные о давлении и температуре в кабине на основании прототипа, и использовать эти данные в цикле разработки для улучшения проекта для будущих вылетов.

#### Культура организации

Радикальное преобразование процесса разработки приводит к изменениям культуры компании. С самых ранних этапов клиентам представляются идеи, концепции и прототипы, которые намеренно еще не полностью разработаны, в целях как можно более раннего выявления недостатков. Этот подход также затрагивает концепцию «минимально жизнеспособного

продукта», которая предусматривает максимально быстрое создание продукта, содержащего только самые необходимые функции. Этот менталитет в корне отличается от перфекционистского подхода, широко распространенного на сегодняшний день. Таким образом, возможность намеренно допускать ошибки и их конструктивное разрешение будут представлять собой важные аспекты культуры в будущем.

Культура компании также характеризуется понятием внутреннего и внешнего сотрудничества. Идеи оцениваются исходя из их пользы, а не на основании того, откуда они поступили. Привлекается целый ряд разных источников, включая, к примеру, тесное сотрудничество с клиентами и наблюдение за ними или участие в объединениях специалистов-практиков совместно с другими компаниями и учреждениями.

## 5.2 Производство

Производство по-прежнему будет играть ключевую роль в производственных компаниях будущего, так как технологии изготовления и сборки продолжают развиваться. Способ обработки и производства продуктов должен соответствовать требованиям клиента к продукту. Это обуславливает необходимость формирования новых стратегий создания ценности. Компании будут делать акцент на своих ключевых компетенциях. Тот факт, что они будут являться частью настоящей сети создания ценности, будет способствовать снижению степени вертикальной интеграции. Кроме того, это сделает функции продукта и портфель более гибкими для удовлетворения индивидуальных потребностей клиентов. Вместе с тем партнерская экосистема обеспечит больший акцент на потребностях клиента, а также на более экономичных способах производства необходимых (адаптированных) товаров. Для сохранения конкурентоспособности компаний в странах с высоким уровнем заработных плат будет необходимо обеспечить эффективное использование ресурсов за счет более качественного принятия решений на производстве.

### Аддитивное производство

Тогда как в прошлом проектирование и производство входили в цепь последовательных процессов, теперь они представляют собой одно целое – это привело к значительным улучшениям в гибкости и общем времени производственного цикла. Например, в производстве компонентов двигателей воздушных судов нередко возникали сложности, поскольку требовалось производство нескольких частей с использованием разных процессов, их сборка, сварка и, наконец, серьезные проверки качества. С помощью аддитивного производства в проектировании этих компонентов возникает меньше ограничений, начиная с производственного процесса, а также возможна их оптимизация согласно намеченной цели. В самом конце процесса проектирования возможна их непосредственная печать, не требующая практически никакого участия или взаимодействия со стороны человека. Изменения в проекте вносятся незамедлительно и не требуют длительных и дорогостоящих изменений в производственном процессе.

### Материальные и нематериальные ресурсы

Ресурсы играют ключевую роль в создании ценности в производственных компаниях. Информационно-коммуникационные технологии могут использоваться для усовершенствования ранее отделенных друг от друга и полностью пассивных объектов, способствуя созданию киберфизических систем. Подключение этих объектов друг к другу и к соответствующим информационным системам обеспечивают абсолютно новый уровень прозрачности в производственной среде, который в конечном итоге приводит к созданию цифровой модели. Реальные данные производства предоставляются с помощью множества датчиков, преобразуются в информацию и используются для принятия решений. Затем в киберфизических системах для реализации выбранных мер используются системы поддержки или активаторы.

В течение всего процесса создания ценности продукты и материалы в сфере производства назначаются строго определенному заказу. Информацию о ходе выполнения

заказа в реальном времени можно получить в любое время и в любом месте. Выполняется постоянное отслеживание целевых сроков выполнения, а также предоставляются надежные прогнозы о последствиях любых отклонений. Операторы должны иметь возможность безопасно управлять многочисленными машинами, которые становятся все сложнее. Анализ полученных данных обеспечивает возможность планирования производства и контроля персонала для обнаружения новых связей между отклонениями в планировании и производственными процессами. Специалисты – руководители, мастера и старшие смены – могут сосредоточить свое внимание на неавтоматизированных решениях и работе со специалистами по обработке данных для изучения причин неполадок.

### Информационные системы

В производственной среде информационные системы по-прежнему будут представлять собой основу для управления человеческими и технологическими ресурсами и их распределения. Однако монолитные структуры вскоре исчезнут, и вместо них сведения будут поступать из единого источника достоверных данных, но будут доступны в разных сферах применения. Динамически настраиваемые системы планирования будут выполнять сложные вычисления для максимального повышения продуктивности, независимо от функции управления ресурсами. Результаты будут предоставляться работникам на производстве с учетом контекста на выбранном ими конечном устройстве. Также у сотрудников будет доступ к набору приложений на основе ролей, ориентированных на конкретные задачи. В сетях создания ценности будущего бизнес-приложения компаний не только будут использоваться внутри организации, но также будут подключены к системам поставщиков, клиентов и других партнеров в сети создания ценности. Эти данные будут включены в единый источник достоверных данных. Высокая доступность и качество предоставляемых данных улучшит способность к реагированию всех задействованных лиц. Стратегии выполнения действий точно в сроки и строго определенной последовательности приобретут еще более важное значение, за счет чего можно будет снизить уровни запасов, оптимизировать выполняемую работу и минимизировать задержки в цепочке поставок. Специалисты по обработке данных и эксперты по технологическим процессам будут работать





сообща, используя методы анализа данных для проверки данных о качестве, состоянии машин и оборудования и о технологических параметрах для преобразования этой информации в знания. Цель будет заключаться в поиске оптимального разрешения конфликта целей между логистическими издержками и логистическими показателями.

### Организационная структура

Налаженное сотрудничество между партнерами играет ключевую роль в создании ценности в сети. Компании, включенные в сеть создания ценности, обеспечивают производительность оборудования и производственные компетенции. В свою очередь, они получают доступ к внешним производственным возможностям и компетенциям. Ключевые компетенции в специализированных производственных процессах и кадровый потенциал рекламируются на виртуальных торговых площадках, а их цена меняется в зависимости от объема потенциала, который в данный момент использует компания. Традиционные иерархии цепочки поставок частично заменяются структурами, основанными на неиерархических компетенциях и потенциале.

Производственным командам больше не назначается работа только по нескольким задачам: вместо этого они образуют часть междисциплинарной команды, ответственной за продукт в целом. Регулярный диалог по вопросам, связанным с продуктами, между членами разных отделов, например контроля качества, производства компонентов, планирования и контроля производства, способствует обмену знаниями и непрерывному обучению. Также, к примеру, он обеспечивает возможность эффективной реализации запросов на изменения от специалистов по проектированию на производстве. Сотрудники наделены полномочиями самостоятельно принимать решения для более быстрого реагирования. Как новые, так и старые решения оформляются документально, совместно оцениваются и преобразуются в структурированные знания. Оценка сотрудников проводится в зависимости от их готовности делиться знаниями, а также на основании результатов их работы.

### Культура организации

Изменение культуры компании в отношении ошибок может раскрыть значительный потенциал в сфере производства. Обсуждение ошибок позволяет

обнаружить и, по возможности, устранить слабые места в соответствующих процессах. Некоторые идеи могут быть позаимствованы у концепции бережливого производства: реализация процессов постоянного улучшения и методы управления производством могут содействовать открытому обсуждению ошибок. Ввиду растущей сложности и многообразия задач, которые должны выполнять сотрудники, им необходимо в большей мере работать на упреждение, делясь друг с другом накопленным опытом. Для этого крайне необходимы соответствующее регулирование и документальное оформление. В будущем работникам производства (в частности) придется работать с ИТ-системами гораздо чаще.

### Практический пример: CNB

CNB – ведущий производитель яхт, адаптируемых под потребности заказчика. Компания осуществила интеграцию всего информационного потока: от проектирования до производства и наоборот. Помимо использования системы PLM для хранения всей необходимой информации в единой системе ведения учета, CNB также использует решения Интернета вещей, чтобы виртуально связывать информацию со всех этапов: от проектирования до производства. Делается это с помощью панелей или цифровых инструкций по сборке. Используя трехмерный цифровой макет продукта, инженеры могут выбирать запасные детали для включения в конструкторскую спецификацию материалов отдельных яхт. Затем информация конструкторской спецификации материалов автоматически преобразуется в производственную спецификацию материалов в формате, необходимом участникам производственного процесса для создания продукта на линии сборки. Это обеспечивает CNB целостность цифровых процессов, которая обеспечивает возможность параллельного проектирования и планирования производства. Ранний доступ к информации, содержащейся в конструкторской спецификации материалов, сокращает длительность производства продукта. Благодаря этим новым процессам CNB стало проще поставлять суда в срок и в пределах бюджета.



## 5.3 Логистика

В сфере логистики приоритет для развивающихся, гибких компаний заключается в удовлетворении потребностей клиентов, потребителей и пользователей их услуг. Под логистикой подразумеваются интеграционные, комплексные услуги внутри компании и за ее пределами.<sup>35</sup> Основная функция логистики остается неизменной: обеспечивать доступность нужных товаров в необходимом количестве и их доставку за разумные деньги в нужное место и время тому клиенту, который их заказывал.<sup>36</sup> Это применимо не только к готовой продукции, но также к запасным частям в целях обеспечения доступности проданных машин и активов. Однако сдвиг парадигмы, вызванный Индустрией 4.0, приведет к фундаментальному изменению в соответствующем потоке информации, которое затронет все процессы логистических операций. Это приведет к большей интеграции логистики в общую цепочку создания ценности и смещению акцента на логистику по требованию, ориентированную на предоставление услуг.<sup>37</sup>

### Материальные и нематериальные ресурсы

Погрузочно-разгрузочное оборудование и упаковки оснащены информационными технологиями, такими как метки и система позиционирования в реальном времени (RTLS). Технические ресурсы, например вилочные авто-погрузчики, могут самостоятельно идентифицировать себя, определять свое текущее местоположение и фиксировать данные о своем статусе и транспортируемых товарах. Информация в отношении периода хранения, местоположения и количества хранимых товаров является полностью прозрачной. Подключенные товары самостоятельно передают необходимую информацию, например о своем состоянии. Также в этот процесс коммуникации включены автономные транспортные средства. В них предусмотрена возможность децентрализованного объединения данных, которая позволяет им взаимодействовать с другими транспортными средствами для автономного выполнения транспортных и других управленческих функций с использованием агентного ролевого интеллекта.

### Информационные системы

Логистика по требованию, ориентированная на предоставление услуг, основана на интегрированных информационных системах, которые обеспечивают непрерывную коммуникацию между отправителем и получателем. Интегрированные ИТ-системы позволяют получателю, например производственному отделу, самостоятельно запрашивать определенный элемент. То, что механизмы транспортировки, автономные транспортные средства и средства складского хранения подключены к этим системам, способствует созданию реальной цифровой модели. Эта виртуальная модель всех технологических компонентов обеспечивает контроль с помощью моделирования и оперативных данных, а также автоматический мониторинг и документирование в реальном времени. Система сравнивает текущий статус процесса с целевыми данными. В случае расхождения план пересматривается, а текущие последовательности процессов автономно корректируются. Сведения об изменениях передаются соответствующим транспортным средствам или отображаются их водителям, что позволяет немедленно реализовывать эти изменения.

### Организационная структура

Ключевым организационным изменением в сфере логистики станет то, что партнеры по логистическим операциям станут более автономными в принятии решений. Децентрализованное принятие решений способствует более бережливому планированию логистических операций, поскольку благодаря связанности задействованные лица имеют доступ к виртуальной модели процессов. Глубокое понимание восходящих и нисходящих процессов обеспечивает возможность более тесной интеграции логистики в сеть создания ценности. Вместо назначения логистических операций отдельным людям или транспортным средствам с помощью логистических платформ можно определить, кто находится в наиболее благоприятных условиях для выполнения данной операции. Решение основывается на таких критериях, как текущее местоположение, максимально быстрые сроки поставки и стоимость. В итоге эти разработки приведут к образованию еще большего количества логистических предприятий 4-го уровня. На последнем этапе может

35 | Описанные изменения главным образом относятся к логистическим операциям в производственных компаниях, а не к изменениям, затрагивающим поставщиков логистических услуг.

36 | См. Gudehus 2010, стр. 3.

37 | См. ten Hompel 2013.



быть выбрана компания, предложившая самую низкую цену на момент возникновения спроса.

#### Культура организации

Работники осознают тот факт, что случаи внесения изменений в логистические процессы в последний момент становятся все более частыми. Сотрудники понимают, что все решения, связанные с логистическими операциями, полностью основаны на данных и что это способствует постоянному совершенствованию процессов. Эффективность этих основанных на данных решений обеспечивается за счет систематического использования информационных технологий и систем. Также сотрудники используют собственные знания в логистических процессах. Они могут учиться на основе имеющихся данных за счет объединения возможностей ИТ и управления знаниями.

## 5.4 Обслуживание

Индустрия 4.0 предлагает производственным компаниям новые возможности для прибыльного развития различных частей бизнеса. Традиционная деятельность, которая заключается исключительно в продаже продуктов, изготовленных компанией, все в большей мере заменяется новыми бизнес-моделями предоставления услуг на основе решений. В будущем компании перейдут от транзакционной модели продаж, в которой продукт принадлежит клиенту, к модели «продукт как услуга». Благодаря этому у клиентов будет доступ к продукту, но оплачивать его они будут в зависимости от объема его использования или каких-либо других показателей, привязанных к ценности продукта для клиента (например, по принципу Power by the Hour – почасовой оплаты за применение двигателя Rolls Royce в воздушных судах).

Конкретные и подчас разнообразные требования клиентов будут удовлетворяться не преимущественно продуктами, а отдельно настраиваемыми, основанными на данных, услугами, сочетающими продукты, сделанные как внутри компании, так и внешними партнерами. В качестве простого примера можно привести профилактическое техническое обслуживание с использованием удаленного подключения к продукту. Возможность приспосабливать услуги к конкретным требованиям клиента позволяет более эффективно

предоставлять услуги и укрепляет отношения между клиентом и поставщиком услуг, что способствует установлению долгосрочных отношений. Поставщик услуг берет на себя больше ответственности за отдельные этапы в процессе создания ценности для клиента. Таким образом он в большей мере становится частью этого процесса. Примеры включают соглашения об уровне обслуживания, бизнес-модели на основе результатов и модели получения дохода, в которых поставщик услуг получает долю прибыли при росте производительности. Всему вышеперечисленному присуща одна общая черта – вознаграждение выплачивается производителю согласно определенной модели подписки.

#### Материальные и нематериальные ресурсы

Интеллектуальные продукты с возможностью подключения к Интернету, используемые для оказания услуг, являются ключевым требованием для предоставления услуг на основе данных. Эти продукты умеют получать данные о своей эксплуатации и об окружающей среде, самостоятельно обрабатывать их (по крайней мере в определенной степени) и отправлять поставщику услуг. Это неприменимо к продуктам, которые компания самостоятельно изготовила и продала. Напротив, здесь вновь важно мыслить категориями экосистемы, в которой все продукты в цепочке создания ценности приносят свои собственные данные. Конечно же, сюда относятся собственные продукты компании, используемые на разных этапах процесса создания ценности, а также сторонние продукты. Успешными будут те поставщики, которым удастся собирать воедино данные для всех соответствующих производителей и клиентов, тем самым завоевывая контролирующую позицию в сфере цифрового управления.

Только посредством сбора и объединения данных в таком порядке компании могут преобразовывать свои бизнес-модели как указано выше и тем самым добиваться более тесной интеграции с процессами своих клиентов и устанавливать модели, в основе которых лежит плата либо за подписку, либо за результат. Например, если компания хочет гарантировать доступность продукта с минимальным риском и по конкурентоспособной цене, ей необходимы точные данные о его состоянии и эксплуатации. В качестве примера можно привести Trane, производителя систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, который теперь может гарантировать высокоэффективное регулирование

состояния воздуха во всем здании за счет возможности круглосуточного удаленного мониторинга своего оборудования. Подобным образом компании, которые желают оптимизировать способ ведения деятельности на предприятии, должны иметь возможность связывать данные со всех этапов производственного процесса с собственными продуктами.

### Информационные системы

К традиционному подходу к управлению жизненным циклом продукта добавляется такое направление, как обслуживание. В дополнение к данным о разработке продукта система также включает данные, созданные или необходимые в связи с использованием продукта и предоставлением связанных с ним услуг. Это способствует созданию комплексной цифровой модели продукта с разным представлением данных в зависимости от конкретной области (например, обслуживание и разработка) для обеспечения наглядности услуг и данных о продукте в реальном времени. Существует множество способов применения этого единого источника достоверных данных. Например, специалист по техническому обслуживанию в производственных условиях всегда имеет доступ к актуальной документации по продукту, а также может просматривать историю обслуживания и данные об эксплуатации и состоянии в диагностических целях. Тем временем команда по разработке может использовать данные об эксплуатации для непрерывной разработки продуктов. Кроме того, необходимо учитывать вопрос ИТ-инфраструктуры. Нельзя сказать, что программно определяемые платформы не похожи на сервисные платформы, используемые для организации предоставления услуг, как описано в предыдущем разделе. Программно определяемые платформы обеспечивают среду для агрегации данных и предоставления услуг на основе данных. На сегодняшний день поставщики уже завоевали определенные позиции в этой области и предлагают эксплуатацию соответствующей инфраструктуры как услугу. Сторонние компании могут использовать эти платформы для подключения своих интеллектуальных продуктов и пре-доставления клиентам индивидуальных услуг по типу приложений.

### Организационная структура

В будущем клиенты будут иметь доступ к узкоспециализированным пакетам услуг, в зависимости от их конкретных потребностей. Они будут

предоставляться отдельной группой компаний в сети создания ценности и могут включать как традиционные услуги, которые предусматривают личный контакт с клиентом, так и автоматизированные услуги на основе данных. Например, техническое обслуживание производителя может быть объединено с узкоспециализированными сторонними услугами, такими как анализ данных. Сервисные платформы, обеспечивающие возможность такой совместной работы, представляют собой краеугольный камень этих новых услуг на основе данных.

Одна из основных задач, с которыми сталкиваются компании, состоит в определении того, какую именно роль они должны играть. Это может быть все, что угодно: от специалиста в рамках предоставления индивидуальной услуги или поставщика для платформы вплоть до оператора или интегратора сервисной платформы.

Границы отрасли, в которой функционирует компания, станут менее четко определенными, и каждой компании будет необходимо решить, в какой мере она хочет расширять свою деятельность по предоставлению услуг. Например, производитель добывающего оборудования Joy Global расширил спектр предоставляемых услуг от отдельных элементов оборудования до оптимизации целого парка оборудования в шахте. На техническом уровне в этой связи возникает вопрос: следует ли самостоятельно разрабатывать компетенции в конкретных областях (например, в работе с платформой Интернета вещей) или ей необходимо эти компетенции приобрести?

### Культура организации

Так как специалисты по техническому обслуживанию постоянно сталкиваются с новыми проблемами и находятся в поиске их решений, в их коллективных наработках скрывается огромный потенциал. Следовательно, для технических специалистов особенно важно иметь желание делиться знаниями и документально фиксировать их. В будущем обмен информацией между специалистами по техническому обслуживанию с использованием коммуникационных платформ для обсуждения решений станет важным средством для систематического наращивания знаний. С появлением передовых технологий, таких как дополненная реальность, виртуальная реальность и



распознавание речи, радикально изменится способ работы и обмена знаниями технических специалистов. Общеизвестно, что совместное использование текстовой технической информации и знаний является неэффективным и приводит к низкой продуктивности технических специалистов в разных отраслях. Возможность визуализировать инструкции по ремонту с учетом контекста и издавать голосовые команды, в том числе посредством преобразования речи в текст, обеспечит более быстрое обучение и эффективную совместную работу.

Эти новые знания в сфере обслуживания затем могут использоваться, к примеру, в проектах по разработке, чтобы требования клиента были включены в процесс разработки на ранних этапах. Замкнутый цикл между разработкой и обслуживанием также способствует проектированию продуктов с учетом эффективного обслуживания. Если рассматривать специалистов по техническому обслуживанию как объект взаимодействия с клиентом, то помимо предоставления обратной связи по вопросам, связанным с маркетингом и продажами, они также смогут самостоятельно выполнять определенные функции в этих сферах.

### Практический пример: Trane

Послепродажное обслуживание приобретает все более важное значение для продуктов, предназначенных для отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в домах и зданиях. Это также верно в отношении производственной компании Trane: совместно с кинооператорами в США она разрабатывала систему оперативного климат-контроля, работа которой напрямую связана с объемами проданных билетов и временем показа фильмов. Доступные данные используются для определения оптимальной температуры для каждого зала и соответствующей настройки термостатов.

Использование интеллектуальных технологий позволяет компании избежать ситуаций, при которых в случае поломки возникает необходимость в срочном ремонте. Вместо этого теперь данные используются для определения момента, когда возникает риск поломки

механизма, и вычисления оставшегося времени работы. Благодаря этой информации можно присылать специалиста по техническому обслуживанию на необходимый объект в нужное время. Это также позволяет заключать более эффективные соглашения об обслуживании. «На каждый доллар, который мы получаем от продажи продуктов, может приходиться двенадцать долларов от послепродажного обслуживания. На сегодняшний день наш оборот от продажи продуктов и предоставления услуг практически одинаковый. Однако обслуживание – гораздо более прибыльная область», – говорит представитель компании Пер Боллом (Per Bollom). Как и многие другие производители, компания Trane предполагает, что доля валовой выручки и чистой прибыли, которая приходится на сферу обслуживания, продолжит расти.

## 5.5 Маркетинг и продажи

Главная цель гибкой компании – быть стратегически направленной на систематическое понимание и выполнение требований клиентов. Область маркетинга и продаж играет ключевую роль в этом отношении за счет активного побуждения клиентов к принятию решения о покупке в так называемом «цикле взаимодействия с клиентом». Интеграция отдельных процессов для создания персонализированного, комплексного процесса покупки в цифровом пространстве приносит пользу клиенту, способствуя его лояльности с самых ранних этапов и делая его центральным элементом деятельности компании.

### Материальные и нематериальные ресурсы

Помимо человеческих ресурсов, самыми важными ресурсами для маркетинга и продаж являются технологическое оборудование и сами продукты. Предлагать продукцию клиенту допустимо только в том случае, если можно гарантировать своевременную поставку на основе заявленной и предполагаемой производственной мощности машин и оборудования. Кроме того, отзывы об использовании продукта обеспечивают новую информацию о требованиях клиента и позволяют проверить, правильно ли используется продукт.

### Информационные системы

Гибкая компания может активно контролировать точки контакта в цикле взаимодействия с клиентом. Это возможно благодаря исчерпывающим высококачественным данным, полученным из систем CRM и ERP, а также на основе исследований рынка, открывающих возможность выявления, анализа и оценки отдельных клиентов. Методы анализа данных используются для оценки деловых отношений с клиентами в разрезе экономических критериев. В основе анализа – информация об их прошлых заказах, внутренние данные компании и данные о внешних окружающих факторах. Затем результаты разделяются на требования к продуктам и поведенческие модели. Для анализа типичных моделей поведения клиентов и составления контекстно-зависимых прогнозов об их дальнейших действиях используется совместная фильтрация. Совокупные данные о прогнозируемых объемах продаж, текущем объеме использования мощностей, истории клиентов и информации о рынке позволяют с успехом использовать модели динамического ценообразования для управления доходами. Клиентам могут быть предложены новые модели контрактов, которые, к примеру, исключают поддающиеся проверке гарантии или позволяют предложить клиенту лучшее послепродажное обслуживание благодаря обратной связи о продукте, полученной в ходе его использования. Основанный на данных подход обеспечивает возможность интеграции специальных предложений услуг с процессами клиента, а также удобное предоставление соответствующей информации клиенту, чтобы он был как можно меньше заинтересован в альтернативных продуктах.

### Организационная структура

В будущем в сфере маркетинга и продаж упор будет делаться на тех каналах, которые лучше всего подходят для цикла взаимодействия с клиентом и могут быть лучше всего интегрированы в процессы клиента. Цель

состоит в том, чтобы занять первое по важности место в цикле взаимодействия с клиентом, заставить клиента в оптимальное время (зачастую как можно раньше) и быть готовым к моменту, когда он примет решение о покупке. Это частично достигается путем электронного связывания собственных торговых платформ компаний с системами клиентов в целях автоматизации процессов маркетинга и продаж на стороне поставщика. Клиент получает поддержку в рамках онлайн-визуализации продуктов за счет сбора целевой информации и автоматического отображения сведений, необходимых ему для совершения покупки, наряду с дополнительной информацией о продукте. Цифровые платформы для совместной работы предоставляют новые способы взаимодействия с клиентами. Например, клиенты могут использовать эти платформы для передачи информации об их личных индивидуальных требованиях к проекту продукта, которые затем могут направляться непосредственно командам по разработке и производству.

### Культура организации

В культуре маркетинга и продаж наблюдается радикальное преобразование, особенно в отношении ограниченности мышления торговых представителей. Управление контактными данными клиентов осуществляется централизованно в системе CRM, представляющей собой единый источник достоверной информации. Торговые представители дополняют процесс разработки своими неявными знаниями о текущих проблемах клиента и готовы выступать в качестве важных внутренних партнеров по сотрудничеству. Они положительно настроены в отношении постоянных изменений, характеризующих гибкие компании, и активно участвуют в том, чтобы способствовать постоянным улучшениям. Они также принимают инновационные продукты на основе данных и пакеты услуг, в которых предусмотрены новые стратегии маркетинга и продаж.



## 6 Применение Индекса зрелости Индустрии 4.0 acatech

Компании могут использовать Индекс зрелости Индустрии 4.0 acatech, который поможет им в планировании собственного пути развития для Индустрии 4.0 и подготовит их к пошаговому преобразованию в гибкую компанию.

### 6.1 Принципы применения

Использование индекса включает три последовательных этапа (см. Рис. 18). Первый этап – определение текущего этапа зрелости в разных функциональных областях. Второй этап включает выявление компанией целевого этапа развития, которого она хочет достичь в конце процесса преобразования, на основании своей корпоративной стратегии. Сюда входит анализ существующих характеристик для Индустрии 4.0 по функциональным и структурным областям. Для выявления недостающих характеристик, которые требуются для развития, используется анализ недочетов.

Характеристики зависят от текущей стадии развития, достигнутой на этапе 1, и целевого состояния, которого компания хочет достичь к концу преобразования. И, наконец, третий этап включает определение действий и включение их в план с целью развития характеристик, выявленных на этапе 2.

#### Этап 1 – определение текущего этапа зрелости Индустрии 4.0

В главе 4. «Характеристики» определяются на основании бизнес-процессов в функциональных областях. Они оцениваются с помощью опросного листа, в котором дается оценка характеристик для каждого процесса. Для каждого вопроса предусмотрено несколько вариантов ответов, связанных с шестью этапами развития.

Пример приведен на Рис. 19 ниже. Эта часть опросного листа касается процесса в функциональной области «производство». Здесь оценивается степень, в которой польза ошибок признается в структурной области «культура». Варианты ответов на вопросы позволяют дать точную оценку соответствующей характеристике.

Оценка выполняется на объекте компании. Осмотр объекта позволяет сформировать первоначальное впечатление о принципе работы процессов. Затем выполняется оценка процессов на семинаре, на котором анализируется сложившееся положение на основании процесса управления заказами. Затем оценки



Рис. 18. Применение Индекса зрелости (источник: авторская схема)



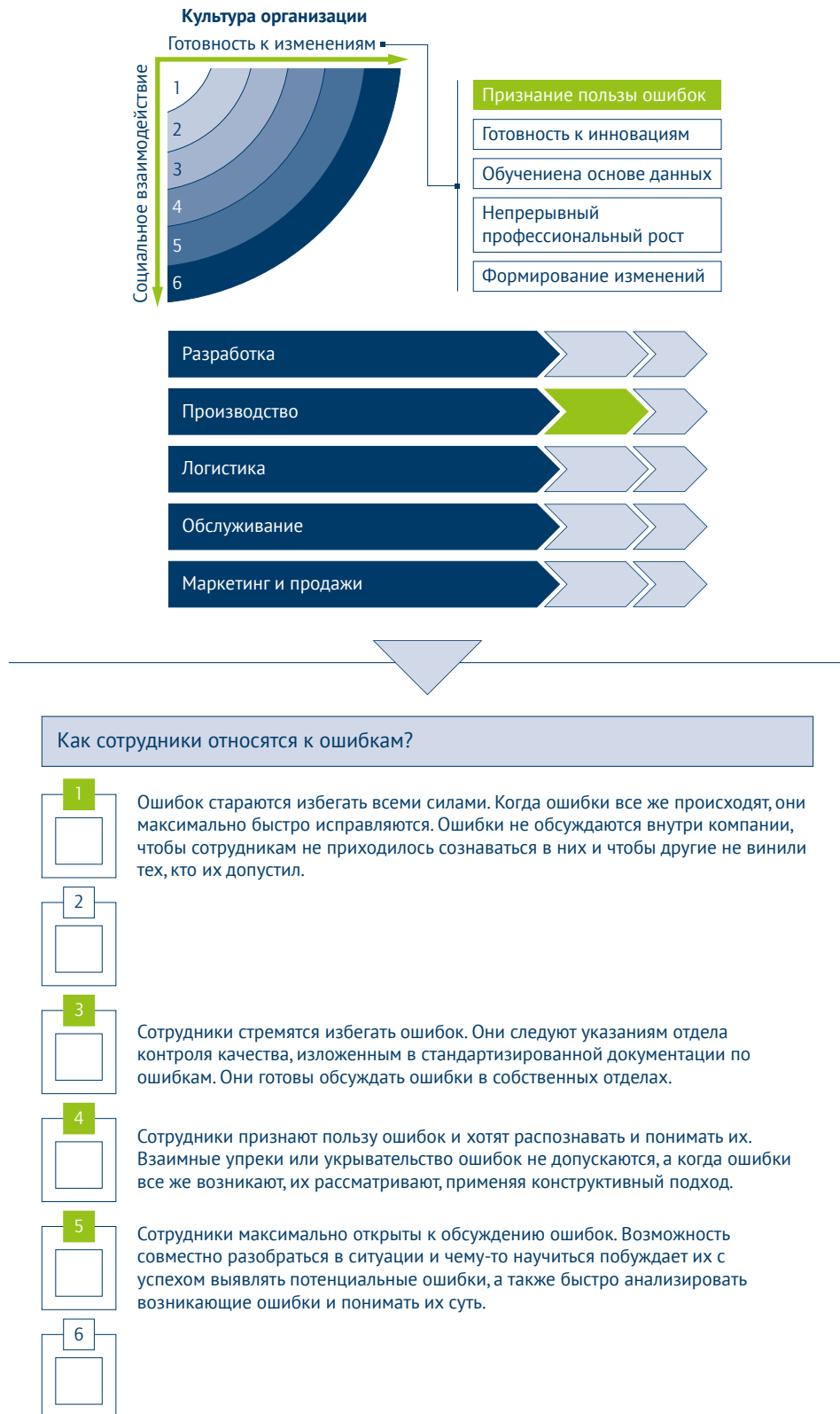


Рис. 19. Пример вопроса (источник: авторская схема)



характеристик по соответствующему принципу объединяются и отображаются для каждого отдельного процесса. В Индексе зрелости Индустрии 4.0 используются концентрические круги (см. Рис. 18) для представления этапов зрелости четырех структурных областей. Чем больше радиус круга, тем выше зрелость производственной компании согласно проведенной оценке.

## Этап 2 – определение характеристик, требующих развития

Затем оценки по отдельным процессам могут быть собраны воедино для формирования общей оценки для каждой функциональной области и компании в целом. Благодаря визуальному представлению ошибок можно быстро определить средний этап зрелости и обратить внимание на различия в стадии развития четырех структурных областей. Главная цель понимания того, как разные структурные области сопоставимы друг с другом, заключается в том, чтобы обеспечить их развитие в одинаковом темпе. Если, как показано в следующем примере, структурным областям «ресурсы» и «культура» присвоены более высокие оценки, чем двум другим структурным областям, это означает, что им присущи характеристики, которые не получится использовать в полной мере из-за недостатка соответствующих характеристик в структурных областях «информационные системы» и «организационная структура» (см. Рис. 20).

Следовательно, в целом компаниям рекомендуется начинать с тех областей, в которых требуются определенные действия, для достижения одинакового этапа зрелости для всех четырех структурных областей, чтобы можно было в полной мере реализовать преимущества данного этапа зрелости (достичь одинаковых этапов зрелости). Это могут быть определенные области деятельности или функции, в которых возможно достижение большинства доступных преимуществ без необходимости обеспечения одинаковых уровней зрелости четырех компонентов. Сюда могут входить сложные логистические операции, успех которых определяется главным образом организационной эффективностью, или улучшение профилактического технического обслуживания, в котором самую важную роль играют эффективные информационные системы. После достижения необходимых уровней зрелости и соответствия

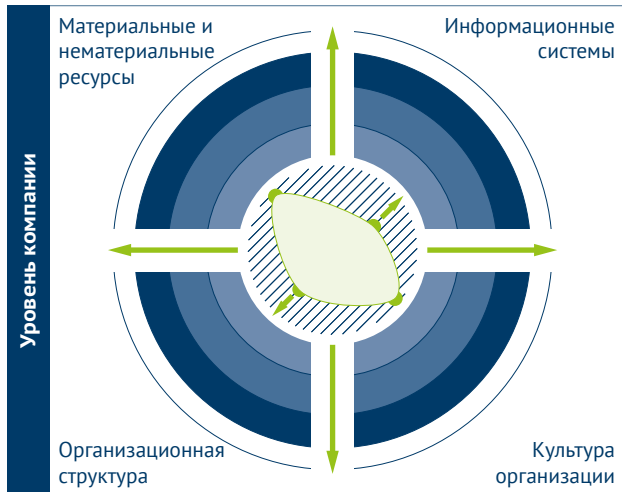


Рис. 20. Объединение данных на уровне компании (источник: авторская схема)

компания может переходить к дополнительным действиям, требуемым для достижения целевого состояния (достижения более высокого этапа зрелости). Этот двухэтапный процесс проиллюстрирован на Рис. 21.

## Этап 3 – определение конкретных мер

Следующий этап – определение мер для областей, в которых требуются действия. Необходимые меры определяются на основании недостающих характеристик в четырех структурных областях. Оценка отдельных процессов позволяет с точностью установить эти меры. На данном этапе компания способна составить план развития и как можно скорее приступить к реализации необходимых мер. Эти меры определяются с помощью двухэтапного процесса, описанного выше, в котором первый шаг заключается в достижении одинаковых этапов зрелости перед последующим представлением мер, направленных на достижение более высокого этапа зрелости (см. Рис. 22).

Меры для обоих этапов, которые должны быть выполнены для достижения целевого состояния (т. е. достижения одинаковых этапов зрелости и более высокого этапа зрелости), в первую очередь отображаются вдоль временной оси для установления их очередности, их согласования друг с другом и реализации в логической последовательности.





Рис. 21. Определение областей, в которых требуются определенные действия (источник: авторская схема)



Рис. 22. Определение необходимых мер (источник: авторская схема)

Также эти меры могут оцениваться с помощью матрицы затрат и выгод. Для оценки выгод использовалась система показателей, в которой каждой характеристике назначался определенный показатель. Развитие

соответствующей характеристики отражается в улучшении оценки показателя, за счет чего можно оценить выгоды определенной меры. Оценка затрат оставляется на усмотрение каждой отдельной компании.



## 6.2 Количественная оценка выгод

Для количественной оценки выгод применения принципов Индустрии 4.0 для предприятий используются определенные показатели. Основная идея заключается в создании связи между установленными показателями и последствиями применения Индустрии 4.0. Связав показатели с Индексом зрелости Индустрии 4.0 acatech, можно представить результаты оценок в виде конкретных цифр (см. Рис. 23). Это позволяет предприятиям понять, как улучшение уровня зрелости скажется на определенных показателях.

Система классификации показателей необходима для оценки выгод от применения Индустрии 4.0.<sup>38</sup> Сложные взаимосвязи, например, выгоды от самооптимизирующихся производственных процессов, необходимо представлять таким образом, чтобы их было легко понять. Самооптимизирующийся производственный процесс может повысить общую эффективность оборудования, а также способствовать более точному соблюдению сроков поставки путем снижения количества неожиданных сбоев. Это может оказать положительное влияние на результаты работы предприятия и на его общую продуктивность. Приведенный краткий пример ясно показывает, что система классификации показателей должна представлять взаимосвязь между самими показателями.<sup>39</sup> Таким образом, установленные показатели были проанализированы и преобразованы в иерархическую структуру.<sup>40</sup> Уровень зрелости предприятия отображается на самом верхнем уровне, тогда как потенциал для инноваций, продуктивность и т. д. представлены на нижнем уровне. Продуктивность – это соотношение результатов работы компании и вложенных усилий. Измеримые показатели, т. е. коэффициент эффективности оборудования, показаны на самом нижнем уровне. Влияние применения принципов Индустрии 4.0 может быть непосредственно отнесено к показателям на самом нижнем уровне. Если затрагивается один из этих показателей, возможно наглядное представление влияния на показатели на более высоких уровнях. Для оценки выгод более высокого уровня зрелости показатели для более низкого уровня связываются с характеристиками Индекса зрелости.

## 6.3 Пример применения в компании

Индекс зрелости Индустрии 4.0 acatech подвергся проверке в компании Harting AG & Co. KG в г. Эспелькампе в начале августа 2016 г. Компания Harting производит промышленную соединительную технику, технологии для подключения устройств и сетевые компоненты. В 2016 году в компании насчитывалось около 4300 сотрудников в 43 сбытовых организациях и на 13 производственных предприятиях. Головной офис компании, а также ее крупнейшая производственная площадка расположены в городе Эспелькампе.

Компания Harting составила подробный перечень процессов во всех соответствующих функциональных областях. Помимо бесед со специалистами в отдельных функциональных областях, состоялось посещение объекта, в рамках которого был продемонстрирован процесс создания стандартного продукта в целях оценки взаимодействия между разными отделами и доступности информации на производстве.

Компания Harting уже выполнила большой объем работы в сфере Индустрии 4.0, особенно на своих производственных предприятиях. Модернизация ИТ-инфраструктуры за прошедшие несколько лет и систематическое предоставление обратной связи с производственной площадки позволили создать цифровую модель производственной среды в информационных системах компании. Отдельные пилотные проекты в разных производственных областях обеспечивают углубленное понимание соответствующих технологий. Компания также много чему научилась из процесса интеграции этих пилотных проектов с существующими технологическими процессами. Например, в рамках одного из пилотных проектов предусмотрено автоматическое определение состояния штамповочных станков на основании звука, возникающего в конструкции.

В рамках оценки было выявлено, что компания достигла этапа зрелости «наглядность» (этап 3) за счет реализации пилотных проектов Индустрии 4.0 в цепочке создания ценности и существования цифровой

38 | См. Obermaier с соавт. 2015.

39 | См. Lingnau und Brenning 2015, стр. 455–460.

40 | См. Masing с соавт. 2014.

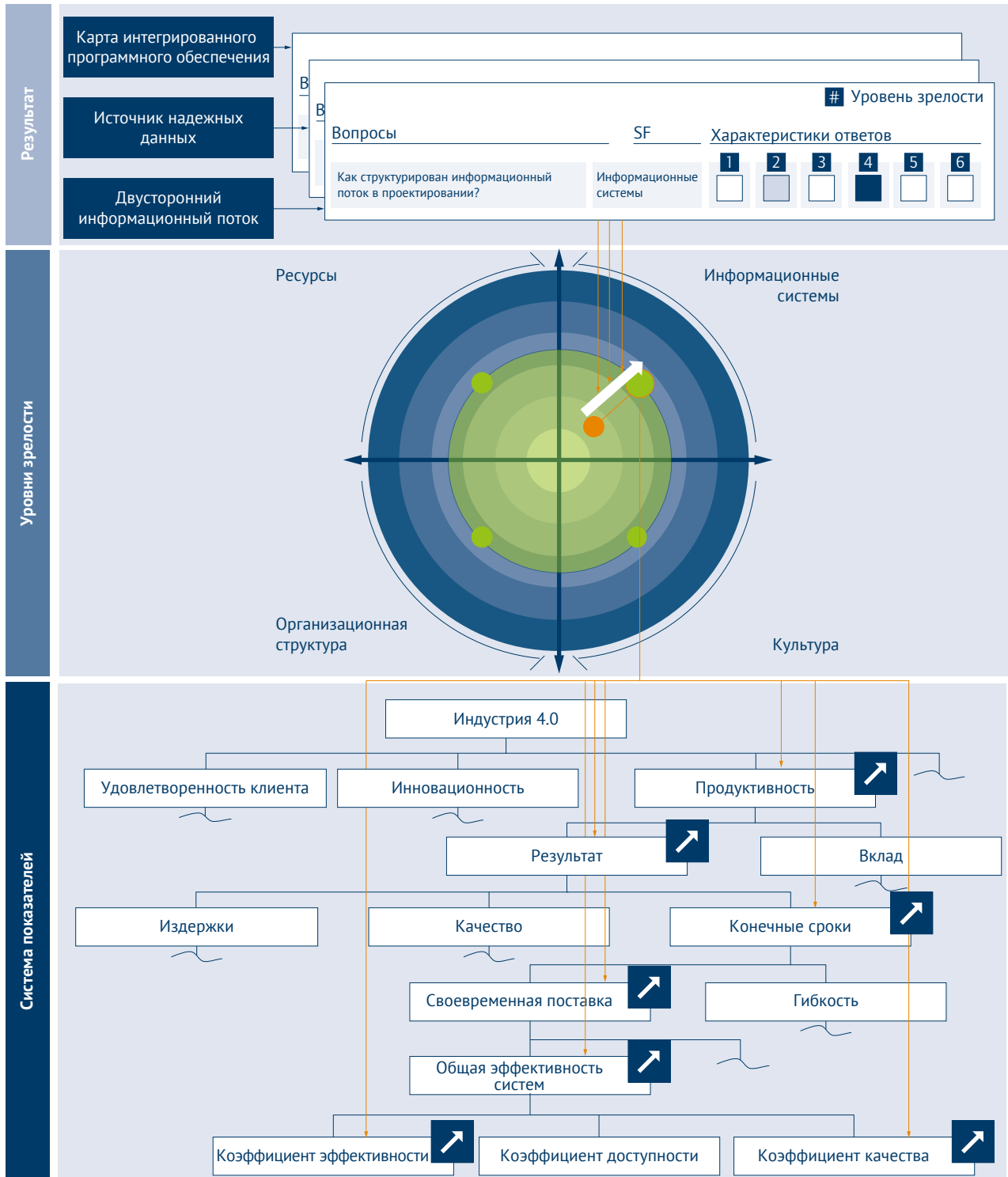


Рис. 23. Связь системы показателей и Индекса зрелости Индустрии 4.0 acatech (источник: авторская схема)



модели, как показано на Рис. 24. После определения сложившегося положения были обозначены меры, которые позволили бы всем аспектам этого этапа достичь одинаковой степени зрелости, прежде чем предпринимать действия, направленные на достижение компанией следующего этапа зрелости.

В плане компании Harting предусмотрено более 30 мероприятий в разных функциональных областях для



Рис. 24. Оценка для компании Harting (источник: авторская схема)

постепенного достижения цели – четвертого этапа зрелости, «проницаемость». В текущем плане не предусмотрены меры для достижения уровня зрелости 5 и 6. Эти действия будут включены в результаты последующей оценки.

Одна из мер в функциональной области «производство» включает интеграцию и развертывание существующих пилотных проектов во всем производственном процессе. Поскольку пилотные проекты предназначены для отдельных производственных линий, на данный момент они могут привести только к улучшениям локальных процессов. Эти улучшения являются обособленными и разрозненными, поскольку их потенциал не используется на всех производственных линиях (см. левую часть Рис. 23). Следовательно, эта мера направлена на интеграцию отдельных пилотных проектов в комплексный процесс для того, чтобы в полной мере использовать преимущества потенциала Индустрии 4.0. Сюда относится выбор интегрированного подхода для определенного продукта или группы продуктов и развертывание пилотного проекта во всем процессе создания ценности. Помимо внедрения дополнительных сенсоров, сюда входит и интеграция производительных процессов с процессами принятия решений, чтоб принимать решения на основании данных (см. правую часть Рис. 25). Опыт, приобретенный в результате реализации пилотных проектов, используется в целях получения информации для развертывания в крупном масштабе.

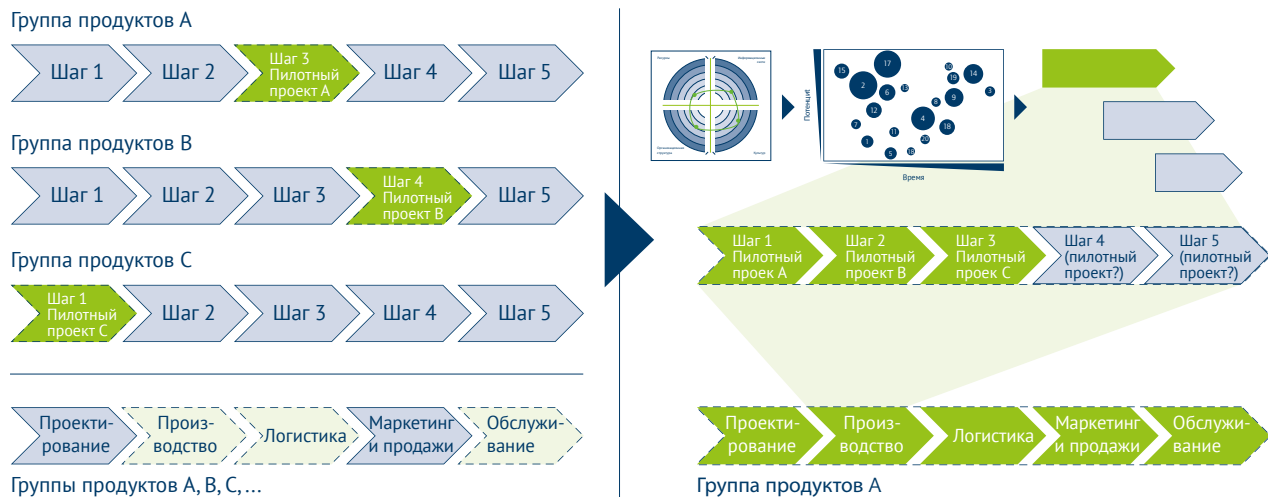


Рис. 25. Пример определения необходимых мер (источник: авторская схема)

## 7 Заключение

Термин «Индустрия 4.0» впервые появился в публикации за 2011 год и с тех пор используется для описания широко распространенного применения информационно-коммуникационных технологий в промышленном производстве. Однако этот термин зачастую неверно истолковывают и связывают только с технологическими аспектами. В сущности, компаниям также необходимо преобразовывать свою организационную структуру и культуру. Конечная цель – стать постоянно развивающейся, гибкой компанией, готовой к непрерывной и быстрой адаптации к меняющейся среде.

Индекс зрелости Индустрии 4.0 aacatech предоставляет компаниям руководство для осуществления этой трансформации в постоянно развивающуюся, гибкую компанию. В индексе представлено шесть последовательных этапов развития для четырех ключевых областей каждой компании. Каждый этап обеспечивает дополнительные выгоды для компании.

Индекс можно использовать для разработки плана действий по цифровому преобразованию, в точности учитывающего потребности каждой отдельной компании, чтобы помочь ей выполнить цифровое преобразование во всех соответствующих бизнес-подразделениях.

В будущем эта модель и результаты исследования могут использоваться для разработки инструментов и передовых методов, которые помогут компаниям в точном формировании процесса преобразования. Этот процесс выполняется отдельно для разных промышленных секторов, чтобы рекомендации носили как можно более точный характер и отражали различия между разными отраслями. Следовательно, дальнейшие оценки эффективности должны выполняться для рассмотрения конкретных характеристик разных секторов и типов деятельности. В рамках модели важным требованием является постоянное получение дополнительной информации, чтобы она продолжала развиваться в духе непрерывного обучения. Помимо дополнительных оценок эффективности, мы надеемся, что эти данные также помогут начать диалог с заинтересованными партнерами в исследовательском и промышленном секторах.



## Список использованных источников

### acatech 2016

acatech (Ed.): *Kompetenzen für Industrie 4.0. Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze* (acatech POSITION), Munich 2016.

### Afshari/Gibson 2016

Afshari, L./Gibson, P.: "How to Increase Organizational Commitment through Transactional Leadership". In: *Leadership & Org Development*, 37: 4, 2016, pp. 507–519. DOI: 10.1108/LODJ-08-2014-0148.

### Andersen et al. 2006

Andersen, B./Henriksen, B./Aarseth: "Holistic Performance Management: an Integrated Framework". In: *International Journal of Productivity and Performance Management*, 55: 1, 2006, pp. 61–78.

### Bauernhansel et al. 2016

Bauernhansel, T./Krüger, J./Reinhart, G./Schuh G.: *WGP-Standpunkt Industrie 4.0*, Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik Wgp e. V. (Ed.), 2016.

### Boos et al. 2011

Boos, W./Völker, M./Schuh, G.: "Grundlagen des Managements produzierender Unternehmen". In: Schuh, G./Kampker, A. (Eds.): *Strategie und Management produzierender Unternehmen. Handbuch Produktion und Management 1*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (VDI-Buch), 2011, pp. 1–62.

### BMWi 2015

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Ed.): *Memorandum der Plattform Industrie 4.0*, 2015.

### Burns/Stalker 2001

Burns, T./Stalker, G. M.: *The Management of Innovation*, Oxford: Oxford Univ. Press 2001.

### Ciupek 2016

Ciupek, M.: "Neues Leben für alte Maschinen". In: *VDI nachrichten*, 29.04.2016 (17). URL: <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Neues-Leben-fuer-alte-Maschinen> [Retrieved: 31.03.2017].

### Grunau 2014

Grunau, J.: *Führungsstile in der Diskussion: Transaktionale und transformationale Ansätze im Vergleich*, 2014.

### Gudehus 2010

Gudehus, T.: *Logistik*, Berlin, Heidelberg: Springer 2010.

### Hackathom 2002

Hackathom, R.: "Minimizing Action Distance". In: *DM Review* (12), 2002, pp. 22–23.

### IEC

IEC 62443: *Network System and Security*.

### Jassawalla/Sashittal 1999

Jassawalla, A. R./Sashittal, H. C.: "Building Collaborative Cross-functional New Product Teams". In: *Academy of Management Perspectives*, 13: 3, 1999, pp. 50–63. DOI: 10.5465/AME.1999.2210314.

### Jensen 1998

Jensen, M. C.: *Foundations of Organizational Strategy*, Harvard University Press 1998.

### Kampker 2015

Kampker, A. (Hrsg.): *Wir müssen früh scheitern, um schneller erfolgreich zu sein. Effizienzsteigerung im Industrialisierungsprozess am Beispiel des StreetScooter*, Aachen: Apprimus Verlag 2015.

### Love/Roper 2001

Love, J./Roper, S.: "The Organisation of Innovation: Collaboration, Cooperation and Multifunctional Groups in UK and German Manufacturing". In: *Cambridge Journal of Economics*, 28: 3, 2001.

### McGrath 2012

McGrath, R. G.: "How the Growth Outliers Do It". In: *Harvard Business Review*, January/February, 2012, pp. 110–116.

**Muehlen/Shapiro 2010**

Muehlen, M./Shapiro, R.: "Business Process Analytics". In: Vom Brocke, J./Rosemann, M. (Eds.): *Handbook on Business Process Management. Strategic Alignment, Governance, People and Culture*, second edition, New York: Springer Berlin Heidelberg (International handbooks on information systems) 2015.

**Porter 1989**

Porter, M. E.: "From Competitive Advantage to Corporate Strategy". In: Asch, D./Bowman, C. (Eds.): *Readings in Strategic Management*. London: Macmillan Education UK, 1989, pp. 234–255.

**Prahalad/Hamel 1990**

Prahalad, C. K./Hamel, G.: "The Core Competence of the Corporation". In: *Harvard Business Review*, 86, 1990, pp. 79–91.

**Pümpin/Amann 2005**

Pümpin, C./Amann, W.: *SEP. Strategische Erfolgspositionen; Kernkompetenzen aufbauen und umsetzen*, Bern: Haupt 2005.

**Reichwald/Piller 2009**

Reichwald, R./Piller, F.: *Interaktive Wertschöpfung. Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung*, Wiesbaden: Gabler Verlag/GWV Fachverlage GmbH 2009.

**Ries 2011**

Ries, E.: *The Lean Startup. How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses*, New York, NY: Crown Business 2011.

**Schuh et al. 2014**

Schuh, G./Potente, T./Thomas, C./Hauptvogel, A.: "Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme". In: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel Heuser, B. (Eds.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014, pp. 277–296.

**Schuh/Kampker 2011**

Schuh, G./Kampker, A.: *Strategie und Management produzierender Unternehmen*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2011.

**Schulte-Zurhausen 2014**

Schulte-Zurhausen, M.: *Organisation*, Munich: Vahlen 2014.

**Sturm et al. 2011**

Sturm, M./Reiher, S./Heinitz, K./Soellner, R.: "Transformationale, transaktionale und passiv-vermeidende Führung. Eine metaanalytische Untersuchung ihres Zusammenhangs mit Führungserfolg". In: *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 55: 2, 2011.

**ten Hompel 2013**

ten Hompel, M.: *Neue vernetzte Wege in der Logistik*. BMWI. Autonomik – Autonome und simulationsbasierte Systeme für den Mittelstand, Berlin, 31.01.2013.

**Yin 2009**

Yin, R. K.: *Case Study Research. Design and Methods*, Thousand Oaks [et al.]: Sage Publications 2009.





# acatech – Национальная академия наук и техники Германии



acatech представляет собой немецкие научно-технологические сообщества, как внутри страны, так и за рубежом. Это автономная, независимая и некоммерческая организация. Будучи действующим научным учреждением, acatech предоставляет рекомендации политическим деятелям и широкой общественности по стратегическим вопросам, касающимся технических наук и политики в области технологий. Кроме того, acatech способствует обмену знаниями между сферами науки и промышленности и формированию нового поколения инженеров. Среди членов Академии – ряд выдающихся ученых из университетов, исследовательских институтов и предприятий. acatech получает институциональную поддержку от органов национальной и государственной власти наряду с пожертвованиями сторонних лиц и финансированием для конкретных проектов. Академия организует симпозиумы, форумы, публичные дискуссии и семинары для продвижения новых технологий в Германии и демонстрации своего потенциала для промышленности и общества в целом. acatech публикует исследования, рекомендации и заявления для широкой общественности. В состав Академии входят три органа: Члены Академии, организованные в Генеральную Ассамблею; Сенат, включающий видных деятелей из мира науки, промышленности и политики, которые предоставляют acatech рекомендации по стратегическим вопросам и обеспечивают диалог с промышленными и другими научными организациями в Германии; и Исполнительный совет, который назначается Членами Академии и Сенатом и руководит работой Академии. Головной офис acatech расположен в Мюнхене, а дополнительные офисы находятся в столице страны, Берлине, и в Брюсселе.

Более подробная информация представлена на сайте [www.acatech.de](http://www.acatech.de)



#### Авторы/редакторы:

**Доктор технических наук,  
профессор Гюнтер Шу (Günther Schuh)**

Рейнско-Вестфальский технический  
университет Ахена:  
Steinbachstraße 19  
52074 Aachen | Germany (Германия)

**Доктор технических наук,  
профессор Рейнер Андерл (Reiner Anderl)**

Кафедра автоматизированного проектирования,  
Дармштадтский технический университет:  
Otto-Berndt-Straße 2  
64287 Darmstadt | Germany (Германия)

**Доктор технических наук, профессор  
Юрген Гауземайер (Jürgen Gausemeier)**

Институт Хайнца Никсдорфа,  
Университет Падерборна:  
Fürstenallee 11  
33102 Paderborn | Germany (Германия)

**Доктор наук, профессор Михаэль тен Хомпель  
(Michael ten Hompel)**

Институт перемещения грузов и логистики им.  
Фраунгофера (IML):  
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4  
44227 Dortmund | Germany (Германия)

**Почетный доктор наук, профессор  
Вольфганг Вальстер (Wolfgang Wahlster)**

Немецкий исследовательский центр по искусственному  
интеллекту (DFKI):  
Stuhlsatzenhausweg 3  
66123 Saarbrücken | Germany (Германия)

#### Редактор серии:

**acatech – Национальная академия наук и техники Германии, 2017 г.**

Офис в Мюнхене  
Karolinenplatz 4  
80333 Munich | Germany (Германия)  
Тел.: +49 (0)89/52 03 09-0  
Факс: +49 (0)89/52 03 09-900  
info@acatech.de  
www.acatech.de

Офис в Берлине  
Pariser Platz 4a  
10117 Berlin | Germany (Германия)  
Тел.: +49 (0)30/2 06 30 96-0  
Факс: +49 (0)30/2 06 30 96-11

Офис в Брюсселе  
Rue d'Egmont/Egmontstraat 13  
1000 Brussels | Belgium (Бельгия)  
Тел.: +32 (0)2/2 13 81-80  
Факс: +32 (0)2/2 13 81-89

#### Рекомендуемые ссылки:

Шу, Г., Андерл, Р., Гауземайер, Ю., тен Хомпель, М., Вальстер, В. (и др.): *Индекс зрелости Индустрии 4.0 – Управление цифровым преобразованием компаний* (acatech ИССЛЕДОВАНИЕ), Munich: Herbert Utz Verlag 2017.

ISSN 2192-6174

Библиографическая информация опубликована Немецкой национальной библиотекой. Эта публикация включена Немецкой национальной библиотекой в национальную библиографию Германии; подробные библиографические данные доступны на сайте: <http://dnb.d-nb.de>.

Эта работа охраняется авторским правом. Все права защищены. В частности, это относится к использованию, полностью или частично, переводов, перепечаток, иллюстраций, фотомеханических или других типов воспроизведения и хранения с использованием систем обработки данных.

Согласование: доктор наук Александр Вербик (Alexander Werbik), доктор наук Йоханнес Винтер (Johannes Winter)

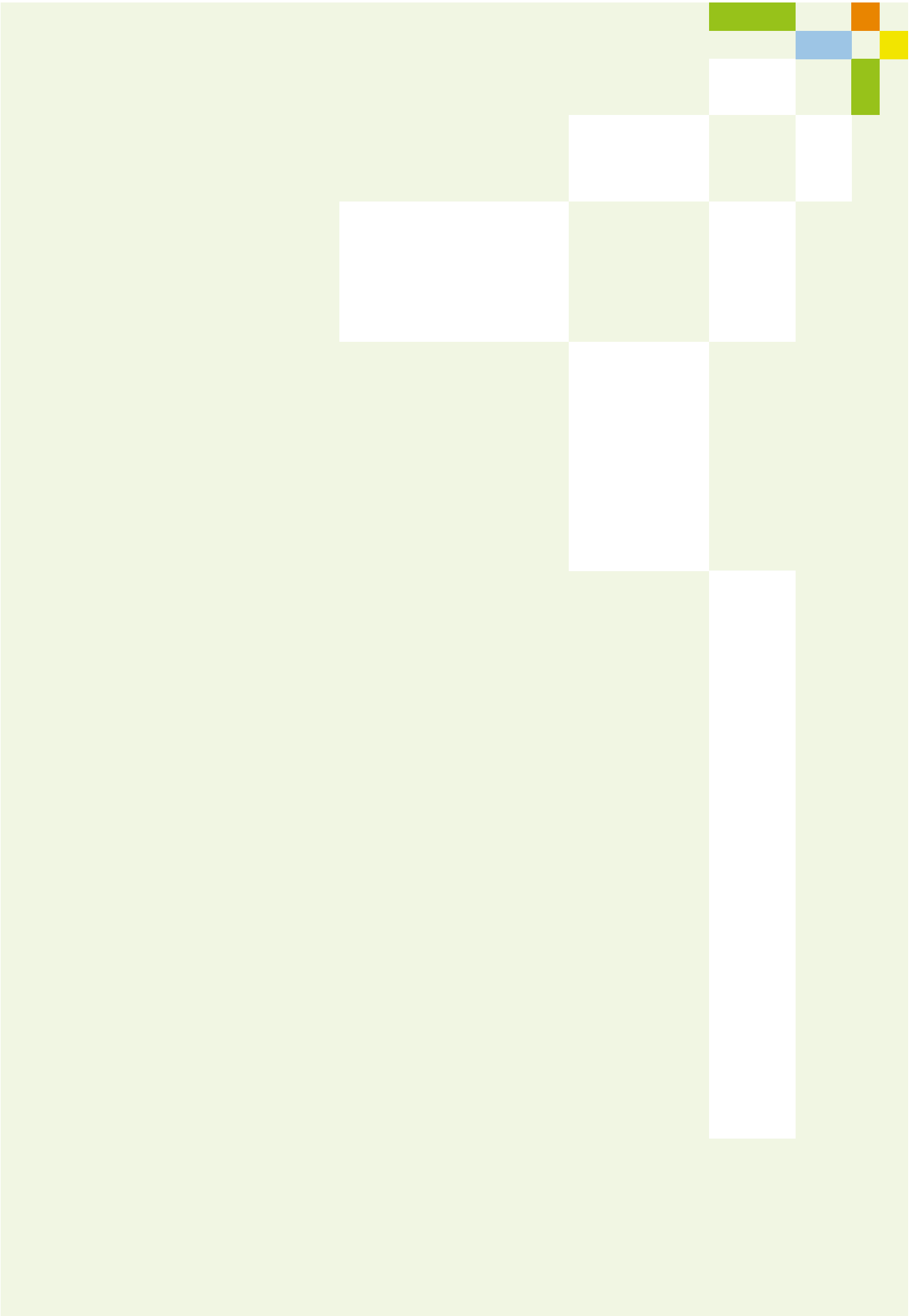
Под редакцией: Биргит Обермайер (Birgit Obermeier)

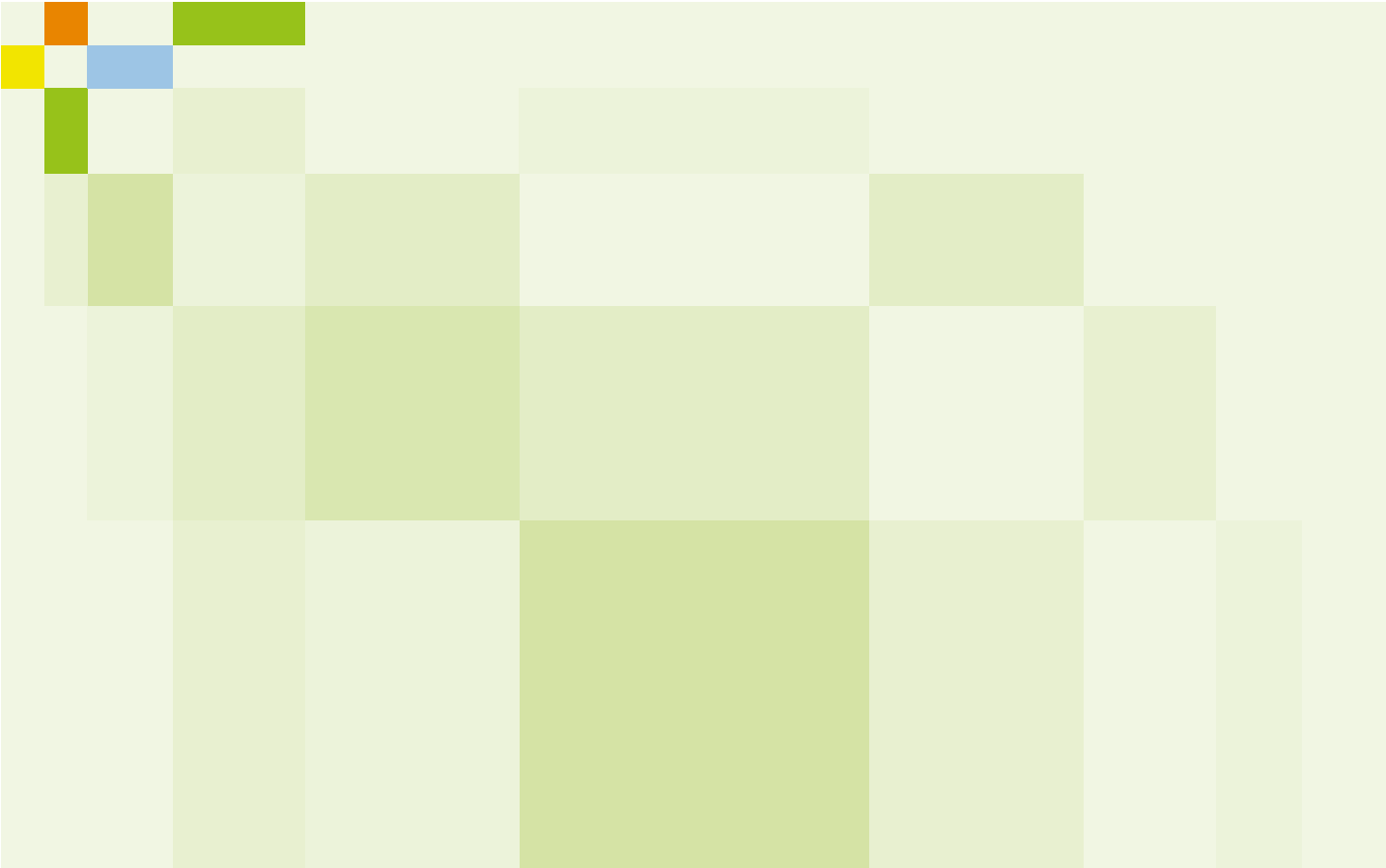
Концепция макета: Groothuis, Гамбург

Фото на обложке: Флориан Кютлер (Florian Küttler)/Westend61

Преобразование и набор текста: Fraunhofer IAIS, Sankt Augustin

Оригинал этой публикации доступен на сайте: [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)





Промышленное производство с использованием связи посредством цифровых технологий обеспечивает более быстрые и эффективные процессы в разработке и производстве, обслуживании, маркетинге и продажах, а также адаптацию бизнес-моделей в целом. Гибкость и способность вносить изменения в реальном времени – ключевые стратегические характеристики успешных компаний в Индустрии 4.0. Чтобы приобрести эти характеристики, необходимо создать постоянно расширяющуюся базу данных. Однако организационная структура и культура компании также играют важную роль в определении того, эффективно ли используется потенциал этих данных.

В этом исследовании acatech описывается новый инструмент, который поможет производственным предприятиям сформировать свой индивидуальный путь к преобразованию в постоянно развивающуюся, гибкую компанию. Индекс зрелости Индустрии 4.0 acatech представляет собой шестиэтапную модель зрелости, в которой анализируются характеристики таких областей, как ресурсы, информационные системы, культура и структура, необходимые компаниям, осуществляющим деятельность в цифровой промышленной среде. Достижение каждого этапа развития обеспечивает конкретные дополнительные выгоды для производственных компаний. Практическое применение модели было проверено в компании среднего размера.