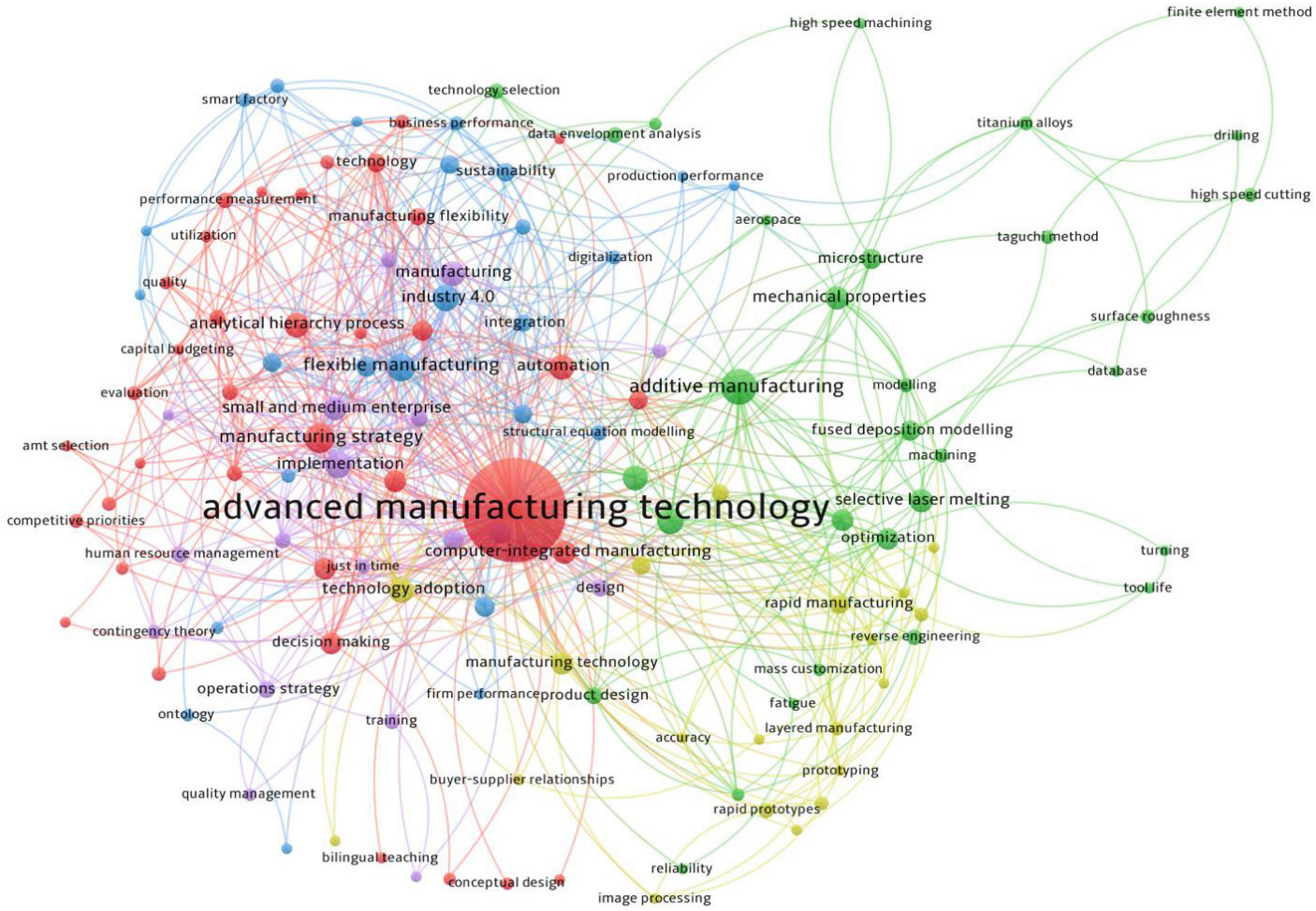


ПЕРЕДОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РОССИИ

ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД

Монография

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОЛИТЕХ
Центр Национальной технологической инициативы
Новые производственные технологии

ПОЛИТЕХ
Институт передовых производственных технологий

CML CompMechLab
ЦЕНТР КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА СПбПУ

Технет
Национальная технологическая инициатива
Передовые производственные технологии

ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ

ЦЕНТР СТРАТЕГИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК
СЕВЕРО-ЗАПАД

РОССИЙСКОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОЛИТЕХ
Центр Национальной технологической инициативы
Новые производственные технологии

ПОЛИТЕХ
Институт передовых производственных технологий

CML ЦЕНТР КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА СПбПУ
CompMechLab

Технет
Национальная технологическая инициатива | Передовые производственные технологии

ВЫСШАЯ · ШКОЛА · ЭКОНОМИКИ ·

ЦЕНТР СТРАТЕГИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК СЕВЕРО-ЗАПАД

РОССИЙСКОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО

ПЕРЕДОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РОССИИ

ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД

Монография

ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург
2020

ББК 65.29
П27

Р е ц е н з е н т ы:
Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук,
профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого *И. Л. Туккель*
Главный специалист Департамента управления и развития бизнеса ЦОД
АО «Концерн Росэнергоатом» *А. Н. Прохоров*

А в т о р ы:
А. И. Боровков, К. В. Кукушкин, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Л. А. Щербина, Ю. А. Рябов,
С. В. Салкуцан, Е. О. Касяненко, И. С. Метревели, К. О. Вишневский, Ю. В. Туровец, М. С. Липецкая,
Д. В. Санатов, Н. С. Андреева, Е. А. Римских, В. А. Пастухов, Н. В. Гоголь, М. А. Королькова

Передовые производственные технологии: возможности для России. Экспертно-аналитический доклад : монография / под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – 436 с.

Экспертно-аналитический доклад подготовлен Центром компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» в партнерстве с Инфраструктурным центром по развитию направления «Технет» НТИ, Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики», Фондом «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», ФБУ «Российское технологическое агентство» (центр управления проектами в промышленности).

Издание содержит аналитические и экспертные материалы по развитию передовых производственных технологий (Advanced Manufacturing Technologies).

Материалы доклада являются итогом трехлетней работы авторов по двум крупным проектам – прогнозу реализации приоритета научно-технологического развития, определенного пунктом 20а Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (2017–2019 гг.) и аналитическому обеспечению работ Инфраструктурного центра по развитию направления «Технет» НТИ (2018–2019 гг.). Часть материалов подготовлена специально для доклада.

Сформулированы подходы к определению и рассмотрены основные тренды развития передовых производственных технологий в России и мире. Проведен анализ и сформированы прогнозы развития рынков, в том числе с использованием инструментария анализа больших данных. Проанализированы ключевые направления государственной поддержки передовых производственных технологий.

На обложке – общая карта направлений публикационной активности по совместной упоминаемости ключевых слов по тематике «передовые производственные технологии» (Advanced Manufacturing Technologies) (1966–2019 гг.). Анализ публикационной активности по данным системы цитирования Scopus на основе 3 тыс. ключевых слов. Карта построена в программном обеспечении VOSviewer.

This expert and research report has been prepared by the National Technology Initiative Center for Advanced Manufacturing Technologies of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University in partnership with the Technet Infrastructure Center, National Research University – Higher School of Economics, Center for Strategic Research North-West and Russian Technology Agency (industry project management center).

This publication provides analysis and insight on the development of Advanced Manufacturing Technologies (AMTs).

The present report summarizes findings from the two projects: forecasting implementation of the science and technology priority set out in point 20a of the Russian Strategy for Science and Technology Development and providing analytics and research support as part of the Technet Infrastructure Center's activities. Some chapters have been specially written for the report.

The expert and research report features numerous approaches to defining AMTs and key AMTs development trends both in Russia and abroad. The authors provide analysis and forecast of AMTs markets through the use of big data analytics software, as well as information on key government efforts supporting Advanced Manufacturing Technologies.

Image on the front cover: the co-occurrence network of the Advanced Manufacturing Technologies related terms extracted from the Scopus abstract and citation database (Scopus data includes 3,000 terms for the period 1966–2019). The network has been constructed and visualized in the VOSviewer software tool.

Печатается по решению
Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ISBN 978-5-7422-7141-3

© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК РИСУНКОВ.....6

СПИСОК ТАБЛИЦ.....11

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....12

ОБ АВТОРАХ.....14

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО.....16

В.Н. Княгинин

ПРЕДИСЛОВИЕ.....18

А.И. Рудской

ВВЕДЕНИЕ.....22

1. ПАНДЕМИЯ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ И НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ.....27

А.И. Боровков, К.В. Кукушкин, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова (СПбПУ)

1.1. Подходы к оценке последствий пандемии COVID-19.....29

1.2. Экономические последствия пандемии COVID-19.....40

2. ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ПОДХОДЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ.....56

А.И. Боровков, К.В. Кукушкин, Л.А. Щербина, Ю.А. Рябов, А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская (СПбПУ)

2.1. Четвертая промышленная революция: статус и перспективы.....56

2.2. Подходы к определению передовых производственных технологий в мире.....66

2.3. Государственная политика в сфере передовых производственных технологий.....87

3. ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ И ДИНАМИКИ СПРОСА НА ПРОДУКТЫ В ОБЛАСТИ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕКТОРАЛЬНОМ И ГЕОГРАФИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ.....142

А. И. Боровков, К.В. Кукушкин, А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская (СПбПУ)

3.1. Атлас экономической сложности и стратегические вызовы для России.....142

3.2. Мировые расходы на инженерные исследования и разработки (Engineering R&D spend, ER&D).....147

3.3. Рынок автомобилестроения.....154

3.4. Рынок двигателестроения.....158

3.5. Рынок авиастроения и ракетно-космической техники.....163

3.6. Рынок машиностроения.....171

3.7. Рынок судостроения и кораблестроения.....176

3.8. Рынок непрерывного/процессного производства.....182

4. РЫНКИ «СКВОЗНЫХ» ТЕХНОЛОГИЙ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» НТИ.....190

А. И. Боровков, Л.А. Щербина, И.С. Метревели, К.В. Кукушкин, А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская (СПбПУ); М.С. Липецкая, Н.С. Андреева, Д.В. Санатов, Е.А. Римских (Фонд «ЦСР «Северо-Запад»)

4.1. Рынок цифрового проектирования и моделирования....190
4.2. Рынок новых материалов....193
4.3. Рынок аддитивных технологий....197
4.4. Рынок промышленной сенсорики....203
4.5. Рынок робототехники....206
4.6. Рынок промышленного Интернета....210
4.7. Рынок больших данных....221
4.8. Анализ слияний и поглощений компаний на рынках направления «Технет» НТИ....226

5. ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ БАРЬЕРЫ, СДЕРЖИВАЮЩИЕ РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЫНКОВ....236

В.А. Пастухов (АНО «АТР»); Н.В. Гоголь, М.А. Королькова (ФБУ «РТА»)

5.1. Резюме результатов исследования....236
5.2. Методология исследования....237
5.3. Внешние тренды, влияющие на научно-технологический прогресс, способствующие появлению / снижению законодательных и социальных барьеров....239
5.4. Выводы исследования....246

6. НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЗАДЕЛА ПО ПРИОРИТЕТУ 20А СТРАТЕГИИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ....252

К.О. Вишневский, Ю.В. Туровец (НИУ ВШЭ)

6.1. Цифровизация инструментов научно-технологической политики. Методология интеллектуального анализа больших данных с помощью системы iFORA....252
6.2. Основные результаты анализа реализации приоритета научно-технологического развития....257
6.2.1. Глобальный технологический ландшафт в области цифровых технологий....257
6.2.2. Ожидаемые технологии, продукты и услуги для реализации приоритета научно-технологического развития....260
6.3. Цифровизация отдельных секторов экономики....267
6.4. Направления использования результатов картирования цифрового приоритета научно-технологического развития....274

7. ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРОДУКТОВ И УСЛУГ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ПРИОРИТЕТА 20А СТРАТЕГИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДО 2030 ГОДА....276

А.И. Боровков, С.В. Салкуцан, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Е.О. Касяненко (СПбПУ)

8. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ КЛЮЧЕВЫХ ПРОФИЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИОРИТЕТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ....283

А.И. Боровков, С.В. Салкуцан, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Е.О. Касяненко (СПбПУ)

8.1. Методика разработки мероприятий поддержки....283
8.2. Предложения по комплексным научно-техническим программам....286
8.2.1. Предложения в программу развития технологий фотоники (январь 2019 года)....289
8.2.2. Предложения в программу развития квантовых технологий (январь 2019 года)....292

8.2.3. Предложения в программу развития аддитивных технологий (январь 2019 года).....295
8.2.4. Предложения в программу развития суперкомпьютерных технологий (январь 2019 года).....298
8.2.5. Программа «Формирование цифровой промышленности на основе цифровых двойников».....303

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....310

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРТНОГО ОПРОСА.....314

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. МАТРИЦЫ НТИ.....320

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПЕРЕЧЕНЬ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ И СОЦИАЛЬНЫХ БАРЬЕРОВ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....324

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ТЕРМИНОЛОГИЯ ИЗ ГОСТ Р ПО СМЕЖНЫМ С ПЕРЕДОВЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ТЕМАТИКАМ.....336

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. ДОРОЖНАЯ КАРТА РАЗВИТИЯ «СКВОЗНОЙ» ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ «НОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ».....347

БИБЛИОГРАФИЯ.....397

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Первый российский электрический смарт-кроссовер «КАМА-1»....19
Рисунок 2. Прогноз роста мировой экономики в разрезе: мировая экономика в целом / развитые страны / развивающиеся страны, % реального ВВП в год, МВФ (апрель 2020 года, прогноз – 2021 год)....30
Рисунок 3. Финансовые потери от ежегодной пандемии гриппа в сравнении с экономическим ущербом последствий климатических изменений....33
Рисунок 4. Оценка порталом Visualcapitalist.com глобальных рисков в 2020 году (январь 2020 года)....34
Рисунок 5. Примеры заголовков публицистических статей о последствиях коронавируса (март – апрель 2020 года). Заголовки слева направо: «Коронавирус приведет к закату КНР как глобального производственного хаба», «Нормальная экономика никогда не вернется назад», «Новый коронавирус окажет длительное влияние на глобальные цепи поставок» 35
Рисунок 6. Влияние COVID-19 на разные секторы экономики (1 балл – минимальное влияние, 5 баллов – максимальное влияние)....38
Рисунок 7. Динамика и прогноз изменения показателя ВВП Российской Федерации (2008–2020 гг., %)....43
Рисунок 8. Прогноз изменения добавленной стоимости по отраслям экономики в России вследствие пандемии COVID-19 (%, 2020 год)....44
Рисунок 9. Прогноз роста рынков вследствие реализации карантинных мероприятий во время пандемии COVID-19 в России (%, 2020 год)....45
Рисунок 10. Государственная поддержка бизнеса для снижения негативных последствий коронавирусной инфекции в России по типам (2020 год, млрд руб.)....45
Рисунок 11. Ежеквартальный мировой ВВП (%, I квартал 2019 г. принят за 100%)....46
Рисунок 12. Доходы от продаж и операционная прибыль сектора воздушного транспорта (2010–2022 гг., млрд $)....48
Рисунок 13. Уровень производства в годовом выражении в отраслях промышленности Российской Федерации, которые сильно пострадали от кризиса в связи с пандемией COVID-19 (апрель – май 2020 года, %)....50
Рисунок 14. Уровень производства в годовом выражении в отраслях промышленности Российской Федерации, умеренно пострадавших от кризиса в связи с пандемией COVID-19 (апрель – май 2020 года, %)....51
Рисунок 15. Уровень производства в годовом выражении в отраслях промышленности Российской Федерации, не пострадавших от кризиса в связи с пандемией COVID-19 (апрель – май 2020 года, %)....51
Рисунок 16. Уровень производства в годовом выражении в отраслях промышленности Российской Федерации, выигравших от кризиса в связи с пандемией COVID-19 (апрель – май 2020 года, %)....52
Рисунок 17. Изменения в сфере промышленного производства на примере обрабатывающей промышленности (индекс, декабрь 2019 г. = 100; с учетом сезонных колебаний)....52
Рисунок 18. Изменения объема розничных продаж (индекс, декабрь 2019 г. = 100; с учетом сезонных колебаний)....53
Рисунок 19. ЕС-27, развитие промышленного производства, январь – август 2020 г. (%, 2015=100)....55
Рисунок 20. Динамика изменения доли промышленных производств в ВВП некоторых стран мира (%, 2000–2018 годы)....56
Рисунок 21. Кривая добавленной стоимости (smiling curve)....57
Рисунок 22. Промышленные революции и модернизация оборудования....58
Рисунок 23. Типология блоков технологий, формирующих четвертую промышленную революцию....60
Рисунок 24. Типы производств, которые сосуществуют в современном мире, согласно типологии ЮНИДО....61
Рисунок 25. Сравнение традиционного и передового производства....63
Рисунок 26. Сложность конструкций порождает спрос на инженерные расчеты....65

Рисунок 27. Классификация передовых производственных технологий, предложенная ИППТ СПбПУ в рамках выполнения работ по подготовке долгосрочного прогноза научно-технологического развития РФ до 2040 года (декабрь 2015 г.).....83
Рисунок 28. Глобальные компании – «маяки» четвертой промышленной революции.....90
Рисунок 29. Обложки стратегических и программных документов, в которых зафиксированы меры поддержки передовых производственных технологий (США, 1992, 2011, 2018 годы).....91
Рисунок 30. Аддитивное комплексирование государственных инициатив по развитию HPC-систем, передовых материалов и ППТ, STEM-образования в США.....94
Рисунок 31. Отчет о необходимости реформирования производственного сектора Канады и инициатива «Индустрия 2030».....96
Рисунок 32. Описание проекта «Цифровой двойник обучающей фабрики».....99
Рисунок 33. Инициативы в области передового производства Европейского союза разных уровней..100
Рисунок 34. Обложки документов общеевропейских программ, в которых зафиксированы меры поддержки передовых производственных технологий.....101
Рисунок 35. Обложки стратегических и программных документов разных государств ЕС, в которых зафиксированы меры поддержки передовых производственных технологий.....106
Рисунок 36. География инициативы «Один пояс, один путь».....112
Рисунок 37. Целевые показатели доли китайских товаров на внутреннем рынке в соответствии со стратегическим планом «Сделано в Китае – 2025» (%).....114
Рисунок 38. Целевые показатели доли различных китайских товаров, полученных с применением технологий «умного» производства, на внутреннем рынке (%).....115
Рисунок 39. Сеть университетских инжиниринговых центров.....128
Рисунок 40. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: ключевые направления.....135
Рисунок 41. Оценка технологической сложности и возможностей развития экономик мира.....143
Рисунок 42. Распределение мировых расходов на исследования и разработки в разрезе отраслей экономики (2018 год, %).....147
Рисунок 43. Динамика и прогноз мировых расходов на традиционный и цифровой инжиниринг (2013–2019 годы, $ млрд).....148
Рисунок 44. Динамика мировых расходов на инженерные исследования и разработки по отраслям (2018–2019 годы, $ млрд).....148
Рисунок 45. Прогноз расходов на цифровой инжиниринг по отраслям (2019–2025 годы, $ млрд)....149
Рисунок 46. Прогноз расходов на цифровой инжиниринг со стороны поставщиков услуг (2019–2025 годы, $ млрд).....149
Рисунок 47. Динамика разработки технологий проектирования и инжиниринга (1997–2018 годы, шт.).....151
Рисунок 48. Динамика разработки технологий проектирования и инжиниринга по степени новизны (1997–2018 годы, шт.).....151
Рисунок 49. Динамика использования технологий проектирования и инжиниринга (1997–2018 годы, шт.).....152
Рисунок 50. Динамика использования технологий проектирования и инжиниринга по продолжительности (2016–2018 годы, шт.).....152
Рисунок 51. Баланс платежей за технологии в рамках оказания инжиниринговых услуг (2002–2018 годы, $ млн).....153
Рисунок 52. Продажи на мировом автомобильном рынке в 2019 году по странам (млн шт.).....155
Рисунок 53. Динамика продаж легковых автомобилей в 1998–2019 годах (млн шт.).....156
Рисунок 54. Динамика производства и продаж автотранспортных средств в 2005–2019 годах (млн шт.) 157
Рисунок 55. Динамика производства автотранспортных средств в 15 ведущих странах по производству в 2019 году (млн шт.).....157
Рисунок 56. Производство автотранспортных средств по типам в 2018 и 2019 годах (млн шт.).....158
Рисунок 57. Мировой рынок силовых установок, предназначенных для космических летательных аппаратов, в 2017 и 2023 годах по конечным потребителям ($ млрд).....159
Рисунок 58. Прогноз темпов роста рынка авиационных двигателей в разных регионах мира (2021–2026 годы).....160

Рисунок 59. Динамика и прогноз объемов мирового рынка судовых двигателей по оценке Profshare Market Research (2017–2026 годы, $ млрд).....161
Рисунок 60. Прогноз темпов роста рынка судовых двигателей в разных регионах мира (2021–2026 годы).....162
Рисунок 61. Сегменты аэрокосмической отрасли по объему выручки (2017 год).....163
Рисунок 62. Топ-10 стран по выручке в аэрокосмической отрасли (2017 год, $ млрд).....163
Рисунок 63. Выручка ведущих мировых производителей и поставщиков самолетов (2017–2018 годы, $ млрд).....165
Рисунок 64. Динамика снижения/роста к предыдущему году производства летательных аппаратов и соответствующего оборудования (2014–2017 годы, %).....167
Рисунок 65. Динамика и прогноз доли поставок российских самолетов на мировом рынке самолетов гражданской авиации (2011–2025 годы, %).....168
Рисунок 66. Семейство ближне- и среднемагистральных самолетов МС-21.....169
Рисунок 67. Самолет МС-21: материалы и основные производители.....170
Рисунок 68. Этапы реализации проекта разработки самолета МС-21.....171
Рисунок 69. Темпы роста мирового рынка машиностроения по версии IHS Markit.....171
Рисунок 70. Доли стран на рынке машиностроения в 2018 году (%).....172
Рисунок 71. Темпы роста мирового рынка машиностроения по версии The Business Research Company 172
Рисунок 72. Среднегодовые темпы роста мирового рынка машиностроения по регионам в 2007–2018 годах (%).....173
Рисунок 73. Рынок кораблестроения, объем рынка по сегментам (2019, 2029 годы, $ млрд).....176
Рисунок 74. Динамика заказов на суда разных типов (2014–2018 годы, валовая вместимость, тыс. тонн).....177
Рисунок 75. Ввод новых грузовых судов в эксплуатацию в 2018 году.....177
Рисунок 76. Страны-лидеры по поставкам гражданских судов в 2018 году (%).....178
Рисунок 77. Распределение эксплуатируемых судов по возрасту (2018 год, %).....179
Рисунок 78. Динамика строительства судов в России (2012–2018 годы, ед.).....181
Рисунок 79. Структура российского флота по классам судов (2018 год, %).....181
Рисунок 80. Строительство судов класса «море» и «река – море» для России (2012–2018 годы, ед.) 182
Рисунок 81. Динамика выручки 40 горнодобывающих компаний-лидеров ($ млрд, 2009–2018 годы) 183
Рисунок 82. Доля добычи полезных ископаемых, являющихся основными источниками доходов компаний-лидеров, в 2006 (внутреннее кольцо диаграммы) и 2018 годах (%).....183
Рисунок 83. Динамика производства стали в мире в 2011–2018 годах (млн т).....184
Рисунок 84. Производство стали по регионам в 2018 году (%).....185
Рисунок 85. Динамика потребления стали в мире в 2011–2018 годах (млн т).....186
Рисунок 86. Потребление стали по регионам мира в 2018 году (%).....186
Рисунок 87. Общий вклад химической отрасли в мировой ВВП по регионам в 2017 году ($ трлн)...188
Рисунок 88. Число рабочих мест в химической отрасли по регионам мира в 2017 году (млн).....188
Рисунок 89. Объем выручки от продаж химической промышленности по регионам мира в 2009–2018 годах (%).....189
Рисунок 90. Расходы компаний химической отрасли на НИОКР по регионам мира в 2017 году ($ млрд).....189
Рисунок 91. Топ-10 стран по расходам на НИОКР в химической отрасли в 2017 году ($ млрд).....189
Рисунок 92. Отрасли – основные потребители PLM-систем в 2018 году (прогноз до 2023 года, $ млрд).....191
Рисунок 93. 10 крупнейших игроков рынка PLM-систем (2018 год, %).....192
Рисунок 94. Российский рынок традиционного PLM, $ млн.....192
Рисунок 95. Прогноз роста рынка HPC (2019–2023, $ млрд).....193
Рисунок 96. Структура рынка аддитивного производства по отраслям применения (прогноз на 2025 год, %).....198
Рисунок 97. Рост рынка аддитивного производства (2016–2018 годы, $ млрд).....199
Рисунок 98. Распределение оборудования для аддитивного производства, установленного с 1988 по 2018 год, %.....199

Рисунок 99. Количество компаний, работающих на рынке аддитивного производства (2019 год)....200
Рисунок 100. Укрупненная структура рынка аддитивного производства по сегментам (2019 год, %)....201
Рисунок 101. Детализированная структура рынка аддитивного производства по сегментам (2019 год, %) 201
Рисунок 102. Рост числа производителей полимерных и металлических 3D-принтеров....202
Рисунок 103. Наиболее используемые технологии 3D-печати и их источник по результатам опроса пользователей (2019 год)....203
Рисунок 104. Прогноз развития рынка промышленной сенсорики по регионам в 2019–2024 годах....204
Рисунок 105. Доля оборудования предприятий, охваченного датчиками IIoT (2018 год, %)....206
Рисунок 106. Сегментация рынка промышленной робототехники в разрезе поставок и сервисов по состоянию на 2017 год ($ млрд)....206
Рисунок 107. Рост глобального рынка промышленной робототехники по регионам (е – предварительная оценка, р – прогноз)....207
Рисунок 108. Количество ежегодно устанавливаемых промышленных роботов в мире (2013–2018 годы, 2019–2022 годы – прогноз, тыс. ед.)....208
Рисунок 109. Количество ежегодно устанавливаемых промышленных роботов в различных регионах мира (2017–2018 годы, 2019–2022 годы – прогноз, тыс. ед.)....208
Рисунок 110. Плотность роботизации по странам мира в 2018 году (промышленные роботы на 10 тыс. занятых)....209
Рисунок 111. Мировые лидеры – компании (год основания) и количество установленных ими промышленных роботов за всё время (по данным на середину 2018 года), единиц....209
Рисунок 112. Прогноз глобального рынка IoT до 2021 года ($ млрд)....211
Рисунок 113. Прогноз объема рынка IIoT в мире в 2018–2022 годах (млрд руб.)....211
Рисунок 114. Распределение отраслей экономики по внедрению технологий IIoT (%)....213
Рисунок 115. Уровень готовности предприятий к решениям IIoT по отраслям экономики....213
Рисунок 116. Рейтинг 25 лучших компаний в сфере IIoT (2018 год)....214
Рисунок 117. Прогноз рынка платформ IIoT в 2018–2024 годах ($ млн)....215
Рисунок 118. Рейтинг компаний в сфере IIoT-платформ The Forrester Wave (2018 год)....216
Рисунок 119. Рейтинг компаний в сфере IIoT-платформ Gartner (2018 год)....217
Рисунок 120. Прогноз объема рынка IIoT в России в 2018–2022 годах ($ млрд)....219
Рисунок 121. Задачи, для которых используются решения IIoT в промышленности (2018 год, %)....219
Рисунок 122. Оценка преимуществ от использования IIoT (2018 год, %)....220
Рисунок 123. Факторы, сдерживающие проникновение IIoT в российской промышленности (2018 год, %)....220
Рисунок 124. Динамика роста рынка больших данных (2015–2022 годы, $ млрд)....222
Рисунок 125. Структура глобального рынка технологий Big Data по сегментам (2018 год, %)....222
Рисунок 126. Доля стран-лидеров в общем объеме рынка больших данных (2018 год, %)....223
Рисунок 127. Инвестиции в технологии больших данных по отраслям (%)....223
Рисунок 128. Сценарии развития рынка больших данных в России....225
Рисунок 129. Крупнейшие и знаковые сделки по слиянию и поглощению за последние 6 лет в области «умного» производства....226
Рисунок 130. Ведущие компании в сфере «умного» производства по количеству слияний и поглощений....227
Рисунок 131. Структура и объем сделок по слиянию и поглощению, проведенных глобальными лидерами в области передовых производственных технологий (2010 год – июнь 2018 года, $ млрд)....229
Рисунок 132. Динамика рынка слияний и поглощений в области передовых материалов ($ млрд)...230
Рисунок 133. Наиболее привлекательные ниши для венчурных инвестиций в 2019 году....231
Рисунок 134. Наиболее привлекательные для венчурных инвестиций «сквозные» технологии НТИ...231
Рисунок 135. Распределение инвестиций фондов с участием капитала РВК по секторам экономики за 2007–2019 годы....232
Рисунок 136. Карта секторов глобального венчурного рынка....233
Рисунок 137. Пример семантической карты....254
Рисунок 138. Пример тренд-карты....255
Рисунок 139. Пример матрицы секторов и продуктов/сервисов на основе цифровых технологий....256
Рисунок 140. Глобальная повестка в области цифровых технологий на основе научных публикаций....258

Рисунок 141. Глобальная повестка в области цифровых технологий на основе патентов.....259
Рисунок 142. Семантическая карта по направлению «передовые цифровые и интеллектуальные производственные технологии» на основе патентов.....260
Рисунок 143. Тренд-карта по направлению «передовые цифровые и интеллектуальные производственные технологии» на основе патентов.....261
Рисунок 144. Матрица секторов экономики и продуктов и сервисов по направлению «передовые цифровые и интеллектуальные производственные технологии».....268
Рисунок 145. Интеграция результатов интеллектуального анализа данных в комплексную систему управления научно-технологическим развитием Российской Федерации.....275
Рисунок 146. Методика формирования прогноза развития технологий.....276
Рисунок 147. Прогноз по направлению «передовые цифровые, производственные технологии» на 2019–2030 годы.....277
Рисунок 148. Прогноз по направлению «новые материалы и способы конструирования» на 2019–2030 годы.....278
Рисунок 149. Прогноз по направлению «роботизированные системы» на 2019–2030 годы.....279
Рисунок 150. Прогноз по направлению «системы обработки больших данных» на 2019–2030 годы...281
Рисунок 151. Прогноз по направлению «искусственный интеллект и машинное обучение» на 2019–2030 годы.....282
Рисунок 152. Архетипы отраслей по типологии инноваций.....283
Рисунок 153. Индекс относительной рыночной доли отраслей (2017 год).....284
Рисунок 154. Направления мер поддержки в зависимости от квадранта, в котором фиксируется технология, продукт, услуга.....286
Рисунок 155. Предлагаемые к реализации комплексные научно-технические программы.....288
Рисунок 156. Типы организаций, которые представляют респонденты (распределение, %).....314
Рисунок 157. Научный статус респондентов (распределение, %).....315
Рисунок 158. Специализация респондентов опроса (распределение, %).....315
Рисунок 159. Приоритетность факторов, влияющих на развитие рынков «Технет» (количество ответов) 316
Рисунок 160. Матрица Национальной технологической инициативы (май 2015 г.).....320
Рисунок 161. Матрица Национальной технологической инициативы (май 2016 г.).....321
Рисунок 162. Матрица Национальной технологической инициативы (июнь 2016 г.).....322
Рисунок 163. Матрица Национальной технологической инициативы (ноябрь 2018 г.).....323

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Сценарии влияния COVID-19 на экономику Российской Федерации....41
Таблица 2. Прогнозы снижения ВВП Российской Федерации в 2020 году....42
Таблица 3. Прогноз World Economic Outlook (WEO), июнь 2020 (%)....47
Таблица 4. Прогноз World Economic Outlook (WEO), октябрь 2020 (%)....53
Таблица 5. Блоки мероприятий по передовым производственным технологиям, США (2018 год)....68
Таблица 6. Блоки передовых производственных технологий и доля предприятий, которые вели их внедрение в 1984 и 1993 годы, Канада....69
Таблица 7. Сравнение блоков передовых производственных технологий, интегрированных в опросники службы статистики Канады в 1993 и 2014 годы....70
Таблица 8. Основные сегменты и примеры технологий, входящих в НПТ (в соответствии с публичным аналитическим докладом по направлению «Новые производственные технологии»)....77
Таблица 9. Предварительный список субтехнологий, рассматриваемых в рамках дорожной карты по развитию «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии»....85
Таблица 10. Лидеры и последователи в области внедрений технологий цифрового производства....87
Таблица 11. Некоторые из национальных инициатив Европейского союза в области передового производства....106
Таблица 12. Основные целевые показатели стратегического плана «Сделано в Китае – 2025»....114
Таблица 13. Приоритетные группы технологий, представленные в матрице Национальной технологической инициативы в разные периоды времени....119
Таблица 14. Большие вызовы и приоритеты научно-технологического развития, выделенные в рамках Стратегии НТР....129
Таблица 15. Дорожная карта реализации первоочередных мер в рамках Приоритета 20а....131
Таблица 16. Существующие меры поддержки инновационного развития институтами развития....138
Таблица 17. Приоритизация продуктовых групп для стратегического развития экономики России. Сценарий «низко висящие фрукты» (сортировка по сложности и возможностям открытия новых линеек)....144
Таблица 18. Приоритизация продуктовых групп для стратегического развития экономики России. Сценарий «сбалансированное портфолио» (сортировка по объему мирового рынка)....145
Таблица 19. Приоритизация продуктовых групп для стратегического развития экономики России. Сценарий «длинные прыжки» (сортировка по объему мирового рынка)....146
Таблица 20. Производство гражданских пассажирских воздушных судов в России (2010–2017 годы, шт.) 168
Таблица 21. Поставки судов по типам (2018 год, тысяч регистровых тонн)....178
Таблица 22. Средний возраст эксплуатируемых судов по типам....179
Таблица 23. Лидеры мирового рынка судостроения (2019 год)....180
Таблица 24. Первые 10 компаний из рейтинга топ-40 компаний по добыче полезных ископаемых PWC в 2018 году)....184
Таблица 25. Топ-10 стран – экспортеров и импортеров стали в 2018 году (млн т)....187
Таблица 26. Влияние цифровой трансформации на химическую промышленность и отрасль передовых материалов на период 2015–2025 годов....195
Таблица 27. Динамика роста мирового и российского рынков новых материалов....195
Таблица 28. Данные по финансовым результатам и числу сотрудников компаний – лидеров рынка передовых материалов....196
Таблица 29. Компании – лидеры на рынке промышленной сенсорики....205
Таблица 30. Экосистема российских производителей решений для IIoT (по состоянию на 2018 год)...221
Таблица 31. Сделки M&A в области аддитивного производства в 2019 году....227
Таблица 32. Сделки M&A в области промышленной робототехники в 2019 году....228
Таблица 33. Сделки M&A в области передовых материалов в 2019 году....230
Таблица 34. Общие итоги акселерационной программы TechNet Project в 2019 году....234
Таблица 35. Приоритетность рынков «Технет» НТИ в 2019 году (количество ответов)....316
Таблица 36. Приоритетность рынков «Технет» НТИ в 2024 году (количество ответов)....317
Таблица 37. Приоритизация барьеров, препятствующих разработке новых технологий на рынках «Технет» НТИ (количество ответов)....318
Таблица 38. Приоритизация барьеров, препятствующих внедрению новых технологий на рынках «Технет» НТИ (количество ответов)....319

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АСУ ТП – автоматизированные системы управления технологическим процессом

АСУ – автоматизированная система управления

БПЛА – беспилотный летательный аппарат

ДК ВТН – дорожная карта высокотехнологичных направлений

ДК СЦТ НПТ – дорожная карта по развитию «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии»

ЛИЦ – лидирующий исследовательский центр

M2M – Machine-to-machine – межмашинное взаимодействие

НОЦ – научно-образовательный центр мирового уровня

НПТ – новые производственные технологии

НТИ – Национальная технологическая инициатива

ОКВЭД – Общероссийский классификатор видов экономической деятельности

ПО – программное обеспечение

ППТ – передовые производственные технологии

СЦТ – «сквозные» цифровые технологии

УГТ – уровень готовности технологий

ЧПУ – числовое программное управление

ADP – Advanced Digital Production – передовое цифровое производство

AEA – All-Electric Aircraft – полностью электрические самолеты

AGVS – Automatic Guided Vehicle System – автоматизированная система управления автомобилем

AI – Artificial Intelligence – искусственный интеллект (ИИ)

AMT – Advanced Manufacturing Technologies – передовые производственные технологии

AR – Augmented Reality – дополненная реальность

AS / RS – Automated Storage and Retrieval System – автоматизированная система хранения и поиска

B2C – Business-to-Consumer – «бизнес для потребителя»

BDaaS – Big Data as a Service – «большие данные как услуга»

BI – Business Intelligence – бизнес-аналитика

BIM – Building Information Modeling – информационное моделирование зданий и сооружений

CAAM – Computer-Aided Additive Manufacturing – технологическая подготовка производства нового поколения, ориентированная на аддитивное производство

CAD – Computer-Aided Design – компьютерное проектирование

CAE – Computer-Aided Engineering – компьютерный инжиниринг

CAM – Computer-Aided Manufacturing – технологическая подготовка производства

CAO – Computer-Aided Optimization – компьютерные технологии оптимизации

CFD – Computational Fluid Dynamics – вычислительная гидрогазодинамика

CIM – Computer-Integrated Manufacturing – компьютерно-интегрированное производство

CNC – Computer Numerical Control – числовое программное управление

CPS – Cyber-Physical Systems – киберфизические системы

CRM – Customer Relationship Management – управление взаимодействием с клиентами

DFAM – Design For Additive Manufacturing – компьютерное проектирование для аддитивного производства

EDI – Electronic Data Interchange – электронный обмен данными

EPC(M) – Engineering, Procurement, Construction, Management – инжиниринг, закупки, строительство, управление

ER&D – Engineering and Research and Development – инжиниринг, исследования и разработки

ERP – Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия

FDM – Fused Deposition Modeling – моделирование методом осаждения с плавлением

FMC - Flexible Manufacturing Cell – гибкая производственная ячейка

FMS – Flexible Manufacturing System – гибкая производственная система

HMI – Human-Machine Interface – человеко-машинный интерфейс

HPC – High Performance Computing – высокопроизводительные вычисления

HPTC – High Performance Technical Computing – высокопроизводительные вычисления для решения инженерных задач

IaaS – Infrastructure as a Service – инфраструктура как услуга

ICS – Industrial Control System – система управления технологическими процессами

ICT – Information and communications technology – информационно-коммуникационные технологии (ИКТ)

IIoT – Industrial Internet of Things – промышленный Интернет вещей, промышленный Интернет, индустриальный Интернет.

IMS – Intelligent Manufacturing System – интеллектуальная производственная система

IoT – Internet of Things – Интернет вещей

IT – Information Technology – информационные технологии (ИТ)

KETs – Key Enabling Technologies – ключевые перспективные технологии

LCV – Light Commercial Vehicle – легкие коммерческие автомобили

M&A – Mergers and Acquisitions – слияния и поглощения

MBE – Model-Based Engineering – моделе-ориентированный инжиниринг

MEA – More Electric Aircraft – новое поколение самолетов с использованием электрических систем и компонентов

MES – Manufacturing Execution System – система управления производственными процессами

ML – Machine Learning – машинное обучение

MLaaS – Machine Learning as a Service – «машинное обучение как сервис».

MRP – Manufacturing Resource Planning – планирование потребностей в материалах

MRP II – Manufacturing Resource Planning II – планирование ресурсов производства

NLP – Natural Language Processing – технологии обработки естественного языка

PDM – Product Data Management – управление данными о продукте

PLM – Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделий

RFID – Radio Frequency Identification – радиочастотная идентификация

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных

SE – Systems Engineering – системный инжиниринг

SLA – Stereolithography – стереолитография

SLAM – Simultaneous Localization and Mapping – «одновременная локализация и построение карты»

SLS – Selective Laser Sintering – селективное лазерное спекание

SMEs – Small and medium-sized enterprises – малые и средние предприятия (МСП)

T2M – Time to Market – сроки вывода на рынок новых продуктов

TMS – Transportation Management System – система управления перевозками

VR – Virtual Reality – виртуальная реальность

ОБ АВТОРАХ

Боровков Алексей Иванович – проректор по перспективным проектам Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, руководитель Научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии», руководитель Центра компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, лидер-соруководитель рабочей группы «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы, к.т.н.

Кукушкин Кузьма Викторович – главный специалист отдела технологического и промышленного форсайта Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

Корчевская Анастасия Андреевна – специалист отдела аналитических исследований Ассоциации «Технет»

Хуторцова Анастасия Тимофеевна – специалист отдела аналитических исследований Ассоциации «Технет»

Щербина Людмила Александровна – заместитель директора по информационно-аналитической работе Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

Рябов Юрий Александрович – начальник отдела технологического и промышленного форсайта Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, к.полит.н.

Салкуцан Сергей Владимирович – заместитель руководителя дирекции Центра компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

Касяненко Елена Олеговна – менеджер Института передовых производственных технологий Санкт Петербургского политехнического университета Петра Великого

Метревели Илья Сергеевич – генеральный директор Ассоциации «Технет»

Вишневский Константин Олегович – директор Центра исследований цифровой экономики Института статистических исследований и экономики знаний Национального исследовательского университета «Высшая школа экономика», к.э.н.

Туровец Юлия Валерьевна – эксперт Центра исследований цифровой экономики Института статистических исследований и экономики знаний Национального исследовательского университета «Высшая школа экономика»

Липецкая Марина Сергеевна – директор Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», к.г.н.

Санатов Дмитрий Васильевич – заместитель директора Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», руководитель подразделения Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» в Москве

Андреева Наталия Сергеевна – руководитель проектного направления Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»

Римских Евгений Андреевич – руководитель департамента региональных проектов Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»

Пастухов Владимир Александрович – генеральный директор АНО «Агентство по технологическому развитию»

Гоголь Наталья Викторовна – заместитель генерального директора ФБУ «Российское технологическое агентство» (центр управления проектами в промышленности)

Королькова Маргарита Анатольевна – заместитель руководителя направления ФБУ «Российское технологическое агентство» (центр управления проектами в промышленности)

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

С 1970-х годов понятие передовых производственных технологий (ППТ) прочно вошло в практику исследовательской работы, подготовки кадров и развития промышленности, а с конца 1980-х годов эта тематика постепенно проникла в политическую повестку. Тем самым развитые страны мира стремятся перезапустить развитие собственной промышленности, сохранить рабочие места за счет повышения маржинальности выпускаемой продукции.

При этом для того чтобы совершить успешное управленческое воздействие, требуется не только субъект управления, но и объект. Поэтому уже на заре развития первых программ поддержки передовых производственных технологий в США и Канаде остро встала задача выделения блоков передовых производственных технологий, их типологизации. Стали формироваться системы измерения того, как применяются технологии в промышленности, начали прорабатываться меры поддержки и показатели, демонстрирующие эффективность реализации государственных программ.

В 2011 году Фондом «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» в интересах Минпромторга России был реализован проект по формированию промышленного и технологического форсайта на долгосрочную перспективу. В рамках этой работы удалось не только описать основные понятия, сформировать первоначальные прогнозы развития промышленных технологий, но и запустить сборку профессионального сообщества.

Так мы познакомились с командой А.И. Боровкова, проректора по перспективным проектам Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ) – самого крупного политехнического университета России и одного из ведущих вузов соответствующей специализации в мире. Команда СПбПУ, работая с ведущими мировыми автопроизводителями, уже в тот момент аккумулировала лучшие практики инжиниринговой деятельности.

Продуктивное сотрудничество с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого продолжается и сейчас и строится на нескольких ключевых направлениях.

СПбПУ – центр подготовки лучших кадров как для городской экономики, так и для российской промышленности. Одним из ключевых подразделений подготовки является Институт передовых производственных технологий (ИППТ), который мы запускали совместно в 2015 году. Институт – лидер в области развития и применения передовых производственных технологий, сфокусированный на подготовке глобально конкурентоспособных специалистов, «инженерного спецназа», обладающего компетенциями мирового уровня.

В 2018 году на базе ИППТ СПбПУ был создан Центр компетенций НТИ «Новые производственные технологии». На базе Центра сформирован консорциум, включающий более 80 участников, многие из которых находятся в Санкт-Петербурге, что, безусловно, формирует основу для опережающего развития проектов в сфере передовых производственных технологий и развития компетенций участников консорциума.

Другим важным направлением взаимодействия является реализация важных для города и экономики проектов. Например, есть потенциал для того чтобы успешно развивать кластер автомобилестроения в Санкт-Петербурге, в том числе за счет передовых инструментов инжиниринга СПбПУ. Университет успешно реализует проекты с ПАО «КАМАЗ», ПАО «СОЛЛЕРС» (ООО «УАЗ»), АО «АвтоВАЗ» и др.

Одним из наиболее перспективных проектов для экономики города может стать электромобиль класса М1 – смарт-кроссовер «КАМА-1». Это первый полноценный электромобиль, готовый к серийному производству, способный проезжать более 250 км без подзарядки, разгоняться до

150 км/ч и выдерживать мороз до минус 50 градусов. Электромобиль спроектирован Центром компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» в рекордные сроки – менее чем за два года. Индустриальным партнером проекта выступило ПАО «КАМАЗ».

Совершенно логично, что в августе 2020 года СПбПУ в консорциуме с Научно-исследовательским институтом гриппа имени А.А. Смородинцева Минздрава России, а также Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом и Тюменским государственным университетом победил в конкурсе Минобрнауки России на создание Научного центра мирового уровня по направлению «Передовые цифровые технологии».

Считаю, что сейчас мы, как и весь мир, находимся на этапе переоценки способов организации технологических и производственных процессов, вызванных как стремительным внедрением цифровых и роботизированных технологий, так и беспрецедентным влиянием пандемии COVID-19 на глобальные цепочки поставок и распределенные производства.

В этом смысле экспертно-аналитический доклад «Передовые производственные технологии: возможности для России», подготовленный коллективом авторов из СПбПУ, Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» и ФБУ «Российское технологическое агентство» (центр управления проектами в промышленности), представляет собой срез актуальной повестки в области передовых производственных технологий в мире и в России.

Безусловную ценность представляют все ключевые разделы доклада, в том числе оценка последствий пандемии COVID-19 на экономику и промышленный сектор, анализ рынков спроса и предложения передовых производственных технологий, прогноз с использованием инструментария больших данных, предложения по мероприятиям государственной поддержки развития ППТ и перечень барьеров для внедрения передовых производственных технологий.

Считаю, что публикация представленного доклада является значимым событием как для всего профессионального сообщества, так и для широкого круга читателей. Книга позволит актуализировать повестку, определиться, что нам предстоит делать на втором этапе цифровой трансформации, собрать позиции ключевых стейкхолдеров рынка передовых производственных технологий, задать новые тематики для публичного обсуждения.

Владимир Николаевич Княгинин, вице-губернатор Санкт-Петербурга

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный мир меняется, а пандемия новой коронавирусной инфекции (COVID-19) ускоряет многие процессы, в том числе цифровизацию. Мы перешли в новую цифровую эру и в новый технологический уклад, в нашей деятельности ежедневно появляются новые технологии, методы, решения, а общепринятые и общепризнанные еще вчера – быстро устаревают.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ) традиционно фокусируется на тех изменениях, которые происходят в высокотехнологичной промышленности, точнее даже в цифровой промышленности как драйвере и материальной основе всей цифровой экономики.

Технологии, которые позволяют сократить себестоимость и время разработки, учесть триаду требований современного глобального рынка – сокращение времени принятия решений (Time-to-Decision, T2D), их исполнения (Time-to-Execution, T2E) и вывода продукции на рынок (Time-to-Market, T2M) – называются передовыми производственными технологиями.

Опыт СПбПУ в применении передовых производственных технологий насчитывает более 30 лет. Лаборатория «Вычислительная механика» (1987), Институт передовых производственных технологий (2015), Центр компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» (2018) одними из первых стали применять технологии компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга, разрабатывать цифровые двойники, стали формировать цифровые фабрики и в целом развивать весь комплекс передовых производственных технологий, работая по заказам ведущих промышленных компаний России и мира.

Полученные знания и компетенции стали основой для подготовки специалистов нового поколения – «инженерного спецназа», способного решать инженерно-технологические проблемы-вызовы, которые многими предприятиями промышленности отнесены к разряду «нерешаемых».

Опыт реализации реальных проектов для промышленности позволяет нашему университету в течение многих лет активно участвовать в формировании федеральной повестки в области передовых производственных технологий, причем сразу во всех основных государственных программах.

Университет активно вовлечен в этот процесс с 16 сентября 2014 года, когда на заседании президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России под руководством Председателя Правительства Российской Федерации Д.А. Медведева были рассмотрены вопросы развития новых производственных технологий, и наш университет представил на этом заседании доклад. По результатам заседания развитие новых производственных технологий стало безусловным приоритетом реализации национальной политики.

Ключевые направления, в реализации которых сегодня участвует университет:

- Национальная технологическая инициатива (НТИ): с 2015 года СПбПУ является лидером в разработке, реализации и актуализации дорожной карты «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ. В настоящий момент команда СПбПУ с широким привлечением экспертного сообщества сформировала новую редакцию дорожной карты – «Технет 4.0».

- Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: в 2019 году университет победил в открытом конкурсе ГК «Росатом» и разработал дорожную карту по развитию «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии».

- Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации и национальный проект «Наука»: в 2017–2018 годах, победив в конкурсе, по заказу Минобрнауки России СПбПУ

разработал Прогноз реализации приоритета научно-технологического развития, определенного пунктом 20а Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого является одним из лидеров в сфере развития передовых производственных технологий и участников реализации государственных программ и инициатив по этому направлению. Деятельность университета в этом направлении опирается на мощные консорциумы.

Так, в рамках Национальной технологической инициативы на базе университета по итогам конкурса 2017 года в январе 2018 года был создан Центр компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» (Центр НТИ СПбПУ), вокруг которого был сформирован консорциум. Сегодня в консорциум Центра НТИ СПбПУ входят более 80 организаций-лидеров науки, образования и промышленности. Среди них – крупнейшие российские корпорации: ГК «Ростех», ГК «Росатом», ОАО «РЖД», АО «ОДК», ПАО «ОАК», АО «ОСК», «Вертолёты России» и др.; НИЦ «Курчатовский институт», ведущие университеты, компании – «национальные чемпионы» и лидеры инноваций.

Одним из примеров успешного сотрудничества является совместный проект Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» СПбПУ, ключевого подразделения Центра НТИ СПбПУ, и ПАО «КАМАЗ». В рамках проекта всего за 2 года, без ДВС-предшественника, был разработан и изготовлен предсерийный образец электромобиля «КАМА-1» на основе технологии цифровых двойников. Проект «Создание «Умного» Цифрового Двойника и экспериментального образца малогабаритного городского электромобиля с системой ADAS 3-4 уровня» был выполнен в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (мероприятие 1.3 Проведение прикладных научных исследований и разработок, направленных на создание продукции и технологий, уникальный идентификатор соглашения: RFMEFI57818X0269). Впервые автомобиль был разработан и подготовлен к серийному производству не промышленным предприятием, а политехническим университетом, что показывает успешность интеграции науки, образования и производства в СПбПУ.

Рисунок 1. Первый российский электрический смарт-кроссовер «КАМА-1»

Источник: Центр НТИ СПбПУ

Презентация электромобиля «КАМА-1» состоялась 10 декабря 2020 года перед VII ежегодной национальной выставке ВУЗПРОМЭКСПО на стенде СПбПУ. А уже 25 декабря 2020 года в «Точке кипения – Коммуна» состоялась торжественная церемония награждения лидеров проекта «Технологический прорыв – 2020». В рамках мероприятия главный идеолог проекта «КАМА-1» проректор по перспективным проектам Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), руководитель Центра компетенций НТИ по направлению «Новые производственные технологии» и Научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии», лидер (соруководитель) рабочей группы «Технет» НТИ Алексей Боровков получил награду в номинации «Технологический прорыв – 2020» за разработку первого российского электрического смарт-кроссовера «КАМА-1». Также 28 декабря 2020 года в Доме Правительства в Москве Алексей Боровков получил Благодарность из рук Первого заместителя Председателя Правительства России Андрея Белоусова за реализацию проекта первого российского электрического смарт-кроссовера «КАМА-1».

К основным компетенциям Центра НТИ СПбПУ можно отнести разработку цифровых двойников с использованием уникальной Цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench™, а в числе результатов деятельности консорциума Центра только в 2019 году – реализация НИОКТР объемом 1,3 млрд рублей. Кроме того, в 2018–2020 годах сотрудниками Центра НТИ СПбПУ было разработано и запущено свыше 30 дополнительных образовательных профессиональных программ повышения квалификации, в рамках которых прошли обучение свыше 15 000 человек.

В августе 2020 года СПбПУ победил в конкурсе Минобрнауки России на создание Научного центра мирового уровня по направлению «Передовые цифровые технологии». Конкурс проводился в рамках реализации национального проекта «Наука», которым предусмотрена государственная поддержка создания и развития научных центров мирового уровня, выполняющих исследования и разработки по приоритетам научно-технологического развития. В состав консорциума Научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии» вошли СПбПУ (инициатор и координатор), Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Тюменский государственный университет, НИИ гриппа имени А.А. Смородинцева Минздрава России.

Крупной всероссийской площадкой для коммуникации представителей Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого с участниками консорциумов и профессиональным сообществом, проведения рабочих встреч и организации дискуссий между представителями федеральных и региональных органов власти, руководителями и специалистами государственных корпораций и ведущих высокотехнологичных предприятий, сотрудниками институтов развития и крупнейших научно-образовательных учреждений России стал форум «Новые производственные технологии», который прошел 3–5 октября 2019 года.

Все участники форума получили по экземпляру краткого доклада «Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности», авторами которого выступили эксперты Центра НТИ СПбПУ. Презентация доклада состоялась на пленарном заседании 3 октября 2019 года.

В ходе II Международного форума «Новые производственные технологии», который прошел в онлайн-формате 2–3 декабря 2020 года, участникам форума была представлена еще более масштабная работа – экспертно-аналитический доклад «Передовые производственные технологии: возможности для России». Доклад представил проректор по перспективным проектам СПбПУ, руководитель Центра НТИ СПбПУ и Научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии» СПбПУ, научный редактор и один из авторов – А.И. Боровков.

Экспертно-аналитический доклад «Передовые производственные технологии: возможности для России» представляет собой результат многолетней работы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого по формированию актуальной повестки в области передовых производственных технологий и реализации проектов по заказам промышленных предприятий.

В основе документа – исследовательские проекты и разработка стратегических документов в рамках всех ключевых направлений государственной поддержки передовых производственных технологий в 2017–2020 годах. Эта деятельность реализовывалась совместно с экспертным сообществом, с участием таких ведущих университетов, как НИУ «Высшая школа экономики» и российская «фабрика мысли» – Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», а также проектным офисом Минпромторга России – федеральным бюджетным учреждением «Российское технологическое агентство» (центр управления проектами в промышленности).

Считаю, что эти характеристики позволили собрать в книге всю наиболее свежую и актуальную информацию о развитии передовых производственных технологий в России и в мире.

Конечно, новыми рамочными условиями для экспертного доклада стали пандемия новой коронавирусной инфекции (COVID-19) и ее экономические последствия. С февраля 2020 года специалисты СПбПУ под руководством проректора по перспективным проектам нашего университета А.И. Боровкова в инициативном порядке занимаются математическим моделированием и прогнозированием распространения COVID-19. Проектный консорциум из сотрудников Центра НТИ СПбПУ, Института биомедицинских систем и биотехнологий СПбПУ и Научно-исследовательского института гриппа имени А.А. Смородинцева Минздрава России разработал уникальную математическую модель, которая на основе решения обыкновенных дифференциальных уравнений с высокой степенью вероятности описывает распространение эпидемии в краткосрочной и среднесрочной перспективе. В декабре 2020 года эта системная работа тоже была признана как «Технологический прорыв – 2020».

Одновременно велась работа по анализу и сбору оценок влияния пандемии на экономику, социальную сферу и, конечно, на развитие передовых производственных технологий. Эти материалы нашли свое отражение в докладе.

Необходимо отметить, что авторам доклада удалось подойти к анализу трендов развития передовых производственных технологий с разных сторон, с позиции различных методов исследования, что позволит читателю составить максимально полное представление о рассматриваемой сфере. Доклад адресован широкому кругу читателей. Так, представленные в книге положения могут быть успешно использованы студентами и учащимися в образовательном процессе, технологическими предпринимателями – при поиске рыночной ниши для собственного проекта или разработки, представителями органов государственной власти – для формирования мероприятий поддержки передовых производственных технологий, наконец, профильными экспертами и исследователями – для плодотворной научной дискуссии.

Уверен, этот доклад предложит актуальные темы для размышлений, предоставит ориентиры в вопросах развития передовых производственных технологий, будет способствовать решению проблем-вызовов, с которыми сталкиваются компании в контексте четвертой промышленной революции, а также даст импульс к формированию лидерства российских высокотехнологичных компаний на глобальных рынках.

Андрей Иванович Рудской, ректор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, академик Российской академии наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ

Экспертно-аналитический доклад подготовлен коллективом авторов Центра Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (далее – Центр НТИ СПбПУ) в партнерстве с Инфраструктурным центром по развитию направления «Технет» НТИ, Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики», Фондом «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», ФБУ «Российское технологическое агентство» (центр управления проектами в промышленности).

В докладе представлены результаты, достигнутые авторами в рамках реализации двух крупных проектов:

1) Разработка прогноза реализации приоритета научно-технологического развития, определенного пунктом 20а Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, к новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта).

Работа выполнялась Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого в 2017–2019 годах и финансировалась из средств субсидии Минобрнауки России по Соглашению о предоставлении субсидии в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» мероприятия 1.1. «Проведение исследований, направленных на формирование системы научно-технологических приоритетов и прогнозирование развития научно-технологической сферы». Соглашение о предоставлении субсидии № 14.572.21.0008 от 23 октября 2017 года, уникальный идентификатор ПНИЭР: RFMEFI57217X0008.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого выступил головным исполнителем (руководитель работ – проректор по перспективным проектам А.И. Боровков), соисполнителями по проекту стали: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) (руководитель работ – первый проректор Л.М. Гохберг), Университет ИТМО (руководитель работ – директор Центра научно-технологического форсайта Н.М. Луковникова), Центр управления проектами в промышленности (руководитель работ – генеральный директор В.А. Пастухов), Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» (руководитель работ – директор М.С. Липецкая).

Объект научно-исследовательской работы (НИР) – передовые цифровые, интеллектуальные производственные технологии, роботизированные системы, новые материалы и способы конструирования, системы обработки больших объемов данных, машинное обучение и искусственный интеллект.

Цель НИР – формирование аналитического обзора и разработка прогноза реализации приоритета научно-технологического развития, определенного пунктом 20а Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, к новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта).

В рамках проведенных работ был осуществлен комплексный анализ профильных направлений, полный перечень которых приведен в заключении к отчету по проекту.

Ключевые работы, которые были проведены:

- Проведена оценка качественных и определены количественные параметры рынков продуктов и услуг, значимых социальных задач, развитие которых обеспечивается при реализации приоритета.

- Разработан перечень ожидаемых продуктов и услуг, непосредственно связанных с реализацией приоритета, являющихся наиболее существенными для рынков, направлений приоритета и решения социальных задач, включая их возможные качественные характеристики.

- Разработан перечень ключевых научно-технологических направлений, связанных с реализацией приоритета, определенного пунктом 20а Стратегии научно-технологического развития (СНТР) Российской Федерации, с приложением обосновывающих материалов (всего 35 направлений, раздел Заключение отчета за первый этап).

- Построены карты (ландшафты, матрицы) рынков (секторов) экономики, ключевых технологий, ключевых российских и иностранных центров компетенций.

- Представлены сведения о российских и зарубежных организациях и их структурных подразделениях, являющихся по тем или иным показателям, лидерами соответствующих областей науки и техники.

- Произведена оценка ресурсного потенциала в области передовых цифровых, интеллектуальных производственных технологий, роботизированных систем, новых материалов и способов конструирования, создания систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.

- Проведен анализ и выделение «сквозных» технологий, обеспечивающих мультипликативное влияние на реализацию иных приоритетов, предусмотренных пунктом 20а Стратегии, а также проведена системная оценка регуляторных механизмов в данной сфере и даны предложения по их совершенствованию.

- Определен перечень законодательных и социальных барьеров для развития рынков товаров, услуг и технологий.

- Составлена аналитическая карта, матрицы и ландшафты технологий, рынков и продуктов.

- Разработаны возможные сценарии реализации приоритета.

Проведенные исследования в рамках НИР позволили сформировать сценарии и предложения по комплексным научно-техническим программам обоснованные предложения и проектные инициативы по комплексным научно-техническим программам (5 предложений научно-технических программ).

В ходе работ были сформированы два отчета: отчет по первому этапу (241 страница, 18 таблиц, 66 рисунков, 133 источников, 3 приложения (октябрь – декабрь 2017 года)) и отчет по второму этапу (616 страниц, 41 таблица, 91 рисунок, 213 источников, 4 приложения (январь – декабрь 2018 года)).

В рамках экспертно-аналитического доклада результаты проекта представлены 4 разделами:

- **Законодательные и социальные барьеры, сдерживающие развитие новых рынков инновационных технологий** (ФБУ «Российское технологическое агентство» (центр управления проектами в промышленности)).
  Авторы: В.А. Пастухов, Н.В. Гоголь, М.А. Королькова

– **Новые инструменты научно-технологической политики: российская повестка. Основные результаты анализа реализации стратегического приоритета российской научно-технологической политики** (НИУ ВШЭ).
Авторы: К.О. Вишневский, Ю.В. Туровец

– **Прогноз развития технологий, продуктов и услуг по направлениям Приоритета 20а до 2030 года** (раздел выполнен СПбПУ на основе результатов анализа больших данных НИУ ВШЭ).
Авторы: А.И. Боровков, С.В. Салкуцан, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Е.О. Касяненко

– **Разработка предложений по организации системы поддержки ключевых профильных направлений в Российской Федерации** (пункт разработан СПбПУ на основе методологии McKinsey и Фонда «ЦСР «Северо-Запад»).
Авторы: А.И. Боровков, С.В. Салкуцан, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Е.О. Касяненко

2) Второй проект, результаты которого представлены в экспертно-аналитическом докладе, связан с реализацией плана мероприятий («дорожной карты») «Технет» НТИ, который был одобрен 14 февраля 2017 года на заседании президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России, которое провел Председатель Правительства Российской Федерации Д.А. Медведев.

Целями дорожной карты являются:

- Формирование комплекса ключевых компетенций в Российской Федерации, обеспечивающих интеграцию передовых производственных технологий (далее – ППТ) и бизнес-моделей для их распространения в качестве «Фабрик Будущего» первого и последующего поколений.

- Создание глобально конкурентоспособной кастомизированной / персонализированной продукции нового поколения для рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности.

Одним из мероприятий дорожной карты стало создание всероссийской ассоциации «Технет» НТИ (далее – Ассоциация).

Учредителями Ассоциации являются:

- А.И. Боровков, проректор по перспективным проектам СПбПУ, руководитель Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ);

- А.Д. Фертман, директор по науке, технологиям и образованию Фонда «Сколково»;

- Д.С. Иванов, директор по инновационному развитию ПАО «ОДК-Сатурн»;

- М.С. Липецкая, директор Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»;

- М.Р. Зильберштейн, заместитель генерального директора ФБУ «Российское технологическое агентство» (центр управления проектами в промышленности).

Одной из ключевых задач Ассоциации, созданной в 2018 году, стал «...анализ отечественных и зарубежных научно-технических разработок, техническая экспертиза и прогнозы, подготовка аналитических отчетов по развитию российского и международного рынка по направлению Национальной технологической инициативы» [1].

Для реализации этой задачи, а также в рамках деятельности ассоциации как инфраструктурного центра НТИ[1] в 2018 и 2019 годах выполнялась работа по анализу рынков «Технет» НТИ и формируется прогноз их дальнейшего развития, производится мониторинг ключевых событий на рынках передовых производственных технологий, в том числе на рынках слияний и поглощений.

Объектом проведенных исследований являются аналитические отчеты, научные публикации, национальная и глобальная статистика, достоверные новостные источники, нормативные правовые акты и прочие документы с целью поиска, отбора и последующего анализа информации по направлению «Технет» НТИ.

Предмет исследования – анализ текущего состояния и прогноза развития кросс-отраслевого и кросс-рыночного направления «Технет» (передовые производственные технологии).

В анализ включены следующие рынки направления «Технет» НТИ:

- Цифровое проектирование и моделирование.
- Новые материалы.
- Аддитивные технологии.
- Промышленная сенсорика.
- Робототехника.
- Рынок больших данных (Big Data).
- Индустриальный Интернет.

В ходе аналитического исследования:

- Осуществлен мониторинг ключевых событий на рынках передовых производственных технологий.
- Проведен анализ текущих и прогнозных численных параметров развития рынков.
- Выявлены основные игроки на обозначенных рынках.
- Выделены ключевые технологии, которые в последующем могут сыграть значимую роль при развитии рынков направления «Технет» НТИ.
- Проведен экспертный опрос с приоритизацией рынков «Технет» НТИ (55 экспертов).
- Проведено 2 форсайт-сессии с привлечением широкого круга экспертов.

Информационной базой исследования являлись статистические данные глобального и национального уровней, ключевые российские и зарубежные стратегические и прогнозные документы, прогнозы крупных корпораций и консалтинговых агентств, открытые публикации в разрезе тематических направлений развития науки и технологий, данные экспертного опроса и форсайт-сессий.

В рамках экспертно-аналитического доклада результаты проекта представлены одним разделом:

– **Рынки «сквозных» технологий по направлению «Технет» НТИ** (Ассоциация «Технет» *Авторы: А.И. Боровков, Л.А. Щербина, И.С. Метревели, М.С. Липецкая, Н.С. Андреева, К.В. Кукушкин, А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская, Д.В. Санатов, Е.А. Римских*

3) Разделы, подготовленные экспертами Центра НТИ СПбПУ специально для экспертно-аналитического доклада «Передовые производственные технологии: возможности для России».

Методологической основой разработки этих разделов, помимо аналитических исследований, которые опираются на сбор, анализ, представление данных, стал масштабный практический опыт Центра НТИ СПбПУ в части разработки и применения передовых производственных

1 Ассоциация «Технет» признана победителем конкурса по отбору некоммерческих организаций для реализации программ НТИ, 17 октября 2018 года.

технологий в ходе реализации проектов по заказам отечественных и зарубежных высокотехнологичных промышленных компаний, а также опыт разработки стратегических регламентирующих документов национального уровня, направленных на поддержку передовых производственных технологий.

В частности, эксперты Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ и Центра НТИ СПбПУ принимали участие в разработке дорожной карты «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ, одобренной 14 февраля 2017 года на заседании президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России, проведенном Председателем Правительства Российской Федерации Д.А. Медведевым, а также в разработке дорожной карты по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Технет» (передовые производственные технологии), утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 марта 2018 года № 482-р.

Кроме того, в 2019 году эксперты Центра НТИ СПбПУ участвовали в разработке дорожной карты по направлению развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» в рамках федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [2]. Дорожная карта была утверждена 27сентября 2019 года на заседании президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности, которое провёл Заместитель Председателя Правительства Российской Федерации М.А. Акимов.

Помимо этого, специалисты Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ и Центра НТИ СПбПУ принимали участие в разработке концептуальных проектов различного уровня. Так, в рамках аналитической работы в 2011–2012 годах был реализован проект Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» и Минпромторга России «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации на долгосрочную перспективу», в котором СПбПУ принимал активное участие.

Также были подготовлены тематические дискуссионные доклады – «зеленые книги» – по ключевым для развития промышленности рынкам, в том числе передовым производственным технологиям [3–10]. В дальнейшем вышла работа, посвященная рынку высокотехнологичного компьютерного инжиниринга (2014 год) [11], передовым производственным технологиям (2014 год) [12], бионическому дизайну (2015 год) [13], новой парадигме цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения (2017 год) [14], книга по современному инженерному образованию (2017 год) [9], в 2019 году был опубликован **«Краткий доклад «Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Сентябрь 2019 года»** [15].

Специально для аналитического доклада подготовлены следующие разделы:

– **Пандемия коронавирусной инфекции и новая реальность** (Центр НТИ СПбПУ).
Авторы: А.И. Боровков, К.В. Кукушкин, А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская

– **Эволюция концепции передовых производственных технологий. Подходы и классификация** (Центр НТИ СПбПУ).
Авторы: А. И. Боровков, К.В. Кукушкин, Л.А. Щербина, Ю.А. Рябов, А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская

– **Оценка объемов и динамики спроса на продукты в области передовых производственных технологий в секторальном и географическом разрезе** (Центр НТИ СПбПУ).
Авторы: А.И. Боровков, К.В. Кукушкин, А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская

1. ПАНДЕМИЯ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ И НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

А.И. Боровков, К.В. Кукушкин, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова (СПбПУ)

«Мы все столкнулись и с принципиально новым вызовом – пандемией коронавируса. Болезнь прямо затронула миллионы людей, унесла самое дорогое – сотни тысяч человеческих жизней. Карантины, закрытие границ, создание многочисленных тяжёлых проблем для граждан практически всех государств – всё это реалии сегодняшнего дня <...> Экспертам ещё только предстоит в полной мере оценить и масштаб связанного с эпидемией социально-экономического шока, все его отдалённые последствия. Но уже сейчас очевидно, что восстанавливать глобальную экономику предстоит долго, очень долго. Причём далеко не всегда будут работать прежде опробованные антикризисные меры. Потребуются новые, нестандартные решения. Выработать их мы можем только вместе, и это важнейшая задача как для ООН, так и для государств «двадцатки» и, конечно, для других ведущих межгосударственных организаций и интеграционных объединений, которые из-за последствий пандемии также переживают не лучшие времена и нуждаются в принципиально новых горизонтах и масштабах развития» [17].

Владимир Владимирович Путин, президент Российской Федерации

«Это проверка нашей солидарности, нашего здравого смысла и заботы друг о друге. И я надеюсь, что мы пройдем это испытание» [18].

Ангела Меркель, федеральный канцлер Федеративной Республики Германия

«У этого вируса нет паспорта. Мы должны объединить наши силы, скоординировать наши действия и сотрудничать. Европейская координация очень важна, и я обеспечу ее дальнейшее развитие» [19].

Эммануэль Макрон, президент Французской Республики

«COVID-19 напоминает нам, что мы живем во взаимосвязанной глобальной деревне с общими интересами. Все страны тесно связаны между собой, и у нас общее будущее. Ни одна страна не может извлечь выгоду из чужих трудностей или сохранить стабильность, используя чужие проблемы» [20].

Си Цзиньпин, председатель Китайской Народной Республики

«Там, где у наших лидеров просто нет технологий для борьбы с этой угрозой, у них должны быть сердце, мозг, мускулы, нервы и душа – элементы лидерства. Они вполне могут стать нашим спасителем в этой борьбе за человечество» [21].

Клаус Мартин Шваб, основатель и исполнительный председатель Всемирного экономического форума

«За последние 20 лет произошло восемь вспышек смертельного вируса, каждая из которых могла перерасти в пандемию. Билл Гейтс забил тревогу еще в 2015 году. Пять лет назад он сделал удивительное предсказание и почти каждое его слово сбылось. И как мы отреагировали? Как на сообщение об ошибке «Майкрософт» – просто нажали ОК и продолжили как ни в чем не бывало. Вирус застал человечество врасплох и сейчас необходимо срочно наверстать упущенное» [22].

Борис Джонсон, премьер-министр Великобритании

«Вы должны понимать, что у вас впереди больше неопределенности, чем вы думаете. Доходность может быть намного лучше или намного хуже, чем вы думаете. Люди склонны недооценивать тот факт, что неопределенность носит хронический характер» [23].

Нассим Николас Талеб, американский эссеист, писатель

1.1. Подходы к оценке последствий пандемии COVID-19

Настоящий экспертно-аналитический доклад был подготовлен в январе – октябре 2020 года. Параллельно в мире разворачиваются сразу два процесса, которые, вероятно, приведут к наиболее значительным кризисным явлениям, а также к масштабной трансформации мировой экономики, социальной системы, государственного управления и системы здравоохранения за последние 30 лет. В рамках настоящего доклада эти тренды невозможно игнорировать, так как уже сейчас, а также в долгосрочном горизонте, эти процессы могут оказать самое значительное влияние и на промышленную отрасль.

Первый и наиболее значимый процесс – пандемия коронавирусной инфекции (COVID-19), которая в считанные недели изменила как непосредственно глобальный мир, так и представления о нем.

По мнению Лоррейн Дэстон (Lorraine Daston), историка науки в Институте истории науки Макса Планка (Max Planck Institute for the History of Science), вирус COVID-19 внезапно отправил человечество обратно в XVII век. Мы живем в ситуации, когда наши эмпирические знания находятся на уровне нуля (ground-zero empiricism). Сейчас у нас нет согласованной позиции почти по всем базовым вопросам, как и в 1660-е годы для представителей первых научных обществ. Основной источник информации – случайные наблюдения, очевидные корреляции, рост спекуляций всех уровней. Эти и другие факторы не только затрудняют научные исследования и прогнозирование ситуации, но и в корне меняют наши представления о мире [24].

Лоррейн Дэстон (Lorraine Daston) историк науки в Институте истории науки Макса Планка

Второй процесс – кризис цен на нефть, развернувшийся в марте, связанный в том числе со срывом переговоров о сокращении добычи нефти между Российской Федерацией и Саудовской Аравией. В результате цены на нефть марки Brent упали 9 марта 2020 года на 24% – до $ 34 за баррель [25]. Однако после снижения объемов добычи странами ОПЕК (Организация стран-экспортёров нефти – Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC) 12 апреля 2020 года, цена на нефть стабилизировалась. Так, 3 июня 2020 года стоимость одного барреля нефти марки Brent составила $ 40,16 [26]. Этот фактор также напрямую влияет на мировую экономику и на экономику России в целом.

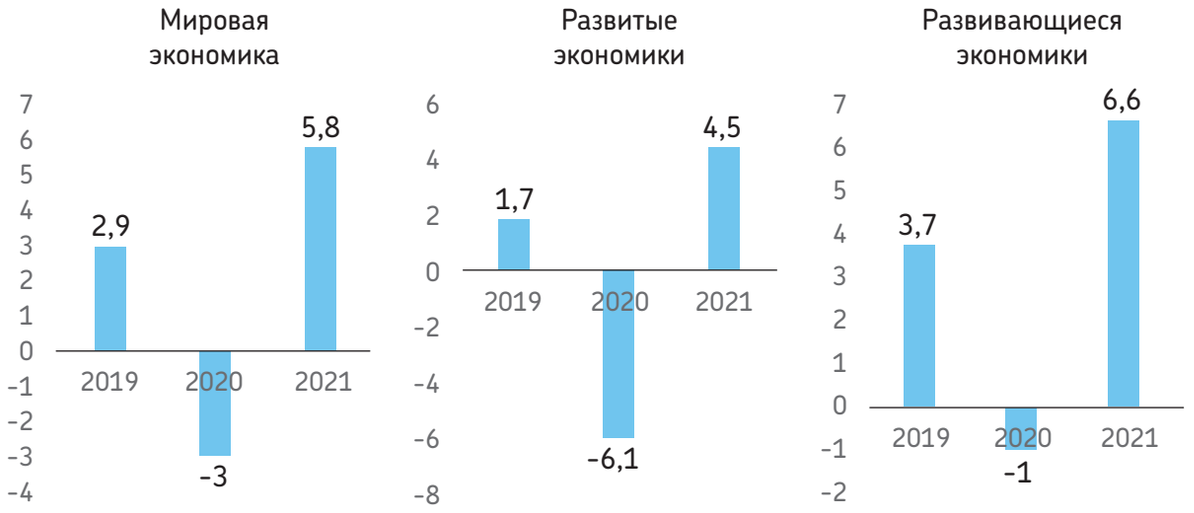
Обзор влияния новых факторов на мир в целом и экономику России будет построен на основе анализа мнений, экспертных отчетов и прогнозов, которые формируются в период пандемии (первые три квартала 2020 года). При этом рассмотрение основных направлений / подходов к прогнозированию и оценке ситуации в целом будет поставлено в центр анализа, тогда как конкретные прогнозы и оценки будут приводиться иллюстративно в рамках предлагаемой типологии направлений.

Такой подход, с точки зрения авторов настоящего доклада, позволит избежать проблемы учета и сопоставления разнообразных, разноплановых и постоянно изменяющихся прогнозов и оценок, а также позволит сформировать наиболее полную и удобную для последующего анализа систему направлений и подходов к анализу ситуации.

1) Проблема прогнозирования экономических последствий пандемии в условиях неопределенности

Международный валютный фонд (International Monetary Fund, IMF, МВФ) уже в мае был вынужден пересмотреть достаточно оптимистичный прогноз мировой экономики, опубликованный в разгар пандемии, в апреле 2020 года. В рамках апрельского прогноза предполагался отрицательный рост мирового ВВП в 2020 году (-3%), что ниже кризисного спада 2008–2009 годов. При этом, прогнозировалось, что в 2021 году глобальная экономика восстановится, достигнув 5,8% роста.

Рисунок 2. Прогноз роста мировой экономики в разрезе: мировая экономика в целом / развитые страны / развивающиеся страны, % реального ВВП в год, МВФ (апрель 2020 года, прогноз – 2021 год)



Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам МВФ, «Великая изоляция», 2020 [27]

По мнению экспертов МВФ в апреле 2020 года, кризис наиболее сильно ударил по развитым экономикам (-6,1% ВВП в 2020 году) и, в меньшей степени, по развивающимся экономикам (-1% ВВП в 2020 году).

При этом уже в мае 2020 года МВФ был вынужден ухудшить прогноз: сокращение мировой экономики может превысить 3% [28].

В условиях нехватки данных многие прогнозы формируются только на основе сбора экспертных мнений. Таким образом в апреле 2020 года был сформирован новый прогноз Всемирного экономического форума (World Economic Forum, WEF, ВЭФ) [29].

В частности, был проведен опрос 50 экономистов об их ожиданиях относительно восстановления мировой экономики. Разброс оценок экспертов – от 0,7% роста до 6% отрицательного прироста экономики в 2020 году (средняя оценка – 1,2% рост). В прогнозе также было разработано 5 сценариев восстановления мировой экономики, различающихся по скорости и этапам восстановления, в том числе в зависимости от продолжительности карантинных мер.

Один из экспертов опроса Карстен Бжески (Carsten Brzeski) назвал новую эпоху «управляемый вирусом ледниковый период». По его словам, в период, когда экономическая активность упала со 100 до 0% за несколько дней затруднительно делать какие-либо прогнозы.

В статье «Почему очень сложно делать экономические прогнозы в период пандемии?» («Why Economic Forecasting Is So Difficult in the Pandemic?»), опубликованной в Harvard Business

Review в мае 2020 года, Арне Полман (Arne Polhman) и Оливер Рейнольдс (Oliver Reynolds) рассматривают появляющиеся в эпоху пандемии экономические прогнозы [30]. Авторы пишут, что рост количества прогнозов, посвященных последствиям пандемии, наиболее высокий за последние двадцать лет и даже выше уровня кризисного 2008 года. Полман и Рейнольдс выделяют три фактора, затрудняющие прогнозирование в эпоху пандемии:

1) Очень высокий уровень влияния политической сферы на развитие экономики. В обычное время действия правительств направлены на поддержку экономического развития и сохранение рабочих мест. В настоящий момент правительства сознательно провоцируют рецессию для сохранения жизней и фактически уничтожают национальную экономику. Например, законы, которые ранее требовали месяцев обсуждений в парламентах и доработок, теперь принимаются в считанные дни. Учет всех этих непредсказуемых факторов сильно затрудняет экономическое прогнозирование.

2) Пандемия сильно повлияла на собираемость и достоверность экономических данных, которые обычно становятся основой для прогнозов. Так, количество ответов домохозяйств на опросы Бюро статистики труда США (U.S. Bureau of Labor Statistics) снизилось в марте 2020 года на 10%. Другой аспект социальных опросов – влияние эмоционального состояния респондентов, находящихся на карантине, на их ответы в рамках проводящихся опросов. Например, оценка покупательной способности населения основана в том числе на уровне цен в ресторанах, которые закрыты на время карантина.

3) Авторы экономических прогнозов вынуждены погружаться в неизвестную им сферу эпидемиологии для того, чтобы лучше понять, как развитие коронавируса влияет на страну. Это задача является вызовом даже для специалистов в сфере здравоохранения.

По мнению авторов, расхождение в экономических прогнозах должно уменьшиться в будущем. Появится большая ясность в отношении эффективности недавних стимулирующих действий правительств. Постепенное снятие ограничений и карантина облегчит сбор экономических данных, знания о вирусе будут расширяться. Однако уровень экономической неопределенности сохранится, возможно, до изобретения вакцины.

Опыт показывает, что различные кризисы с высоким уровнем неопределенности оказывают положительное влияние на систему прогнозирования макроэкономических последствий. Так, понимание, полученное экономистами по результатам экономического кризиса 2008 года, в таких областях, как экономика финансового кризиса и влияние нетрадиционных монетарных мер, улучшило качество современных моделей прогнозирования.

Таким же образом COVID-19 позволит сделать новые выводы о таких областях, как поведенческая экономика – например, как на потребительские расходы влияет страх перед инфекцией или о том, как экономические последствия радикальной фискальной политики влияют на экономику. Полученные знания снизят влияние экономической неопределенности в будущем [30].

2) Публикации, посвященные недооценке мировым сообществом глобальной угрозы пандемии

Статья Эда Йонга (Ed Yong) в журнале «The Atlantic» называется «Как закончится пандемия?» («How the Pandemic Will End») [31].

Основной посыл статьи – недооценка рисков глобальной эпидемии. По мнению автора, правительство США не принимало во внимание подаваемые ему на протяжении нескольких лет сигналы о возможности глобальной пандемии. В том числе общественность ставила под сомнение книги, статьи экспертов, например, лекцию Билла Гейтса (Bill Gates) на эту тему, которая прошла в формате TED Talk в 2018 году. В октябре 2019 года Центр Джона Хопкинса

по безопасности здоровья проводил специальную игру на тему того, что делать, если возникнет угроза глобальной пандемии. Автор также обращает внимание на то, что Глобальный индекс безопасности здоровья (Global Health Security Index)[2] поставил США на первое место в мире (83,5 балла) [31].

В январе 2019 года Всемирный экономический форум опубликовал Белую книгу, написанную совместно с Гарвардским глобальным институтом здравоохранения (Harvard Global Health Institute) под названием: «Готовность к вспышке и влияние на бизнес. Защита жизни и средств к существованию в глобальной экономике». Белая книга была подготовлена к 100-летию вспышки гриппа («испанки») в 1918 году [32].

Доклад констатировал, что в последние 30 лет наблюдается рост вспышек разнообразных инфекционных заболеваний. Между 1980 и 2013 годом в мире произошло 12012 вспышек эпидемий, которые затронули все страны мира и 44 млн человек. Ежемесячно регистрируется 7000 новых сообщений о потенциальных вспышках инфекционных заболеваний. При этом выявленная вспышка может в течение 36 часов оказаться в любой другой точке Земли.

1) Одним из основных факторов ускорения распространения эпидемий является урбанизация: до 55% населения мира живет в городах, прогнозируется рост до 68% к 2050 году.

2) Другим фактором распространения эпидемий является вырубка лесов, до 31% от всех вспышек эпидемий связан с потерями лесного покрова.

3) Третьим фактором является рост вынужденного перемещения людей, что связано с войнами, социальной и экономической нестабильностью. Рост количества мигрантов, живущих зачастую в тяжелых условиях, приводит и к росту инфекционных заболеваний.

4) Наконец, значимую роль в распространении инфекций играет глобальное изменение климата [32].

Эксперты отмечают, что несмотря на все разворачивающиеся тренды по росту количества вспышек инфекционных заболеваний, мир очень слабо подготовлен к борьбе с небольшими вспышками и совсем не готов к глобальной пандемии.

«Наше наиболее сильное опасение состоит в том, что пандемия принесет очень мало изменений или не принесет их вообще: все меняется, но все остается прежним» – Хелле Торнинг-Шмитт (Helle Thorning-Scmidt), премьер-министр Дании [24].

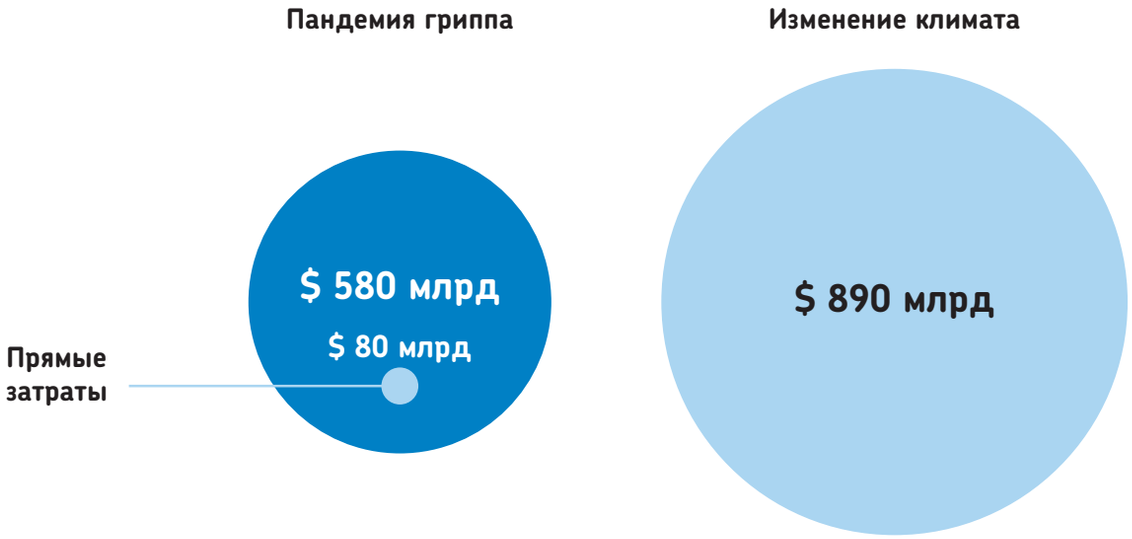
Хелле Торнинг-Шмитт (Helle Thorning-Schmidt) премьер-министр Дании в 2011-2015 годах

Также отмечается, что разработка (распространение) противоинфекционных препаратов и разработка вакцин часто не оправдывает ожиданий. Даже в случае вспышки известного медицине заболевания объема производящихся препаратов может не хватить для профилактики и лечения.

Большинство стран мира предпочитают инвестировать средства не в профилактику заболеваний, а в борьбу с их последствиями. При этом затраты на «ликвидацию» вспышки значительно выше, чем затраты на профилактику. Так, прямые затраты на борьбу с ежегодной эпидемией гриппа составляют $ 80 млрд, когда как косвенный ущерб может оцениваться в $ 570 млрд.

2 Совместный проект Центра безопасности здравоохранения Джонса Хопкинса и Инициативы по сокращению ядерной угрозы (NTI) с аналитическим отделом журнала The Economist (Economist Intelligence Unit, EIU). Индекс GHS оценил безопасность здоровья в 195 странах.

Рисунок 3. Финансовые потери от ежегодной пандемии гриппа в сравнении с экономическим ущербом последствий климатических изменений



Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам ВЭФ, «Готовность к эпидемии и влияние на бизнес. Защита жизни и средств к существованию в глобальной экономике», 2019 [32]

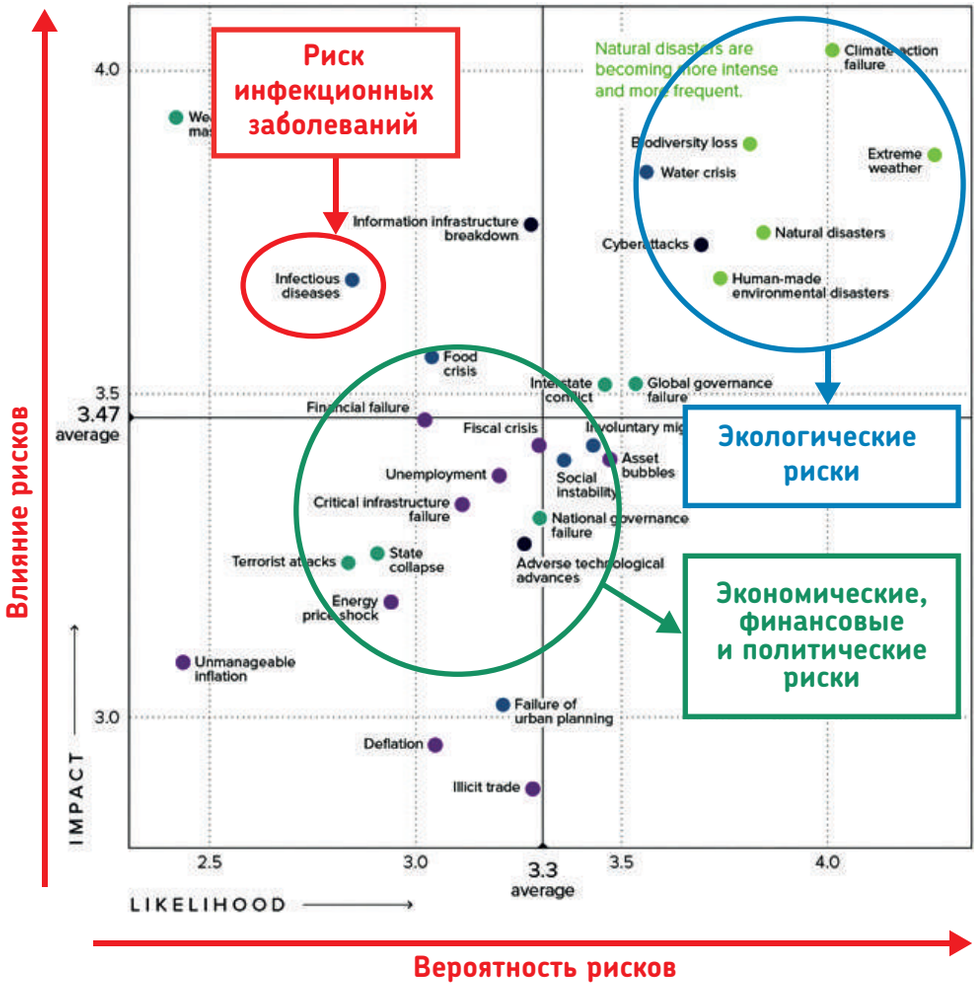
Суммарные косвенные потери только от ежегодной эпидемии гриппа приближаются к суммарному финансовому ущербу от последствий изменения климата. Если рассматривать такие инфекционные заболевания, как Эбола, то только одна ее вспышка в западной Африке в 2014 году привела к прямому экономическому ущербу в $ 2,2 млрд для трех стран: Сьерра-Леоне, Гвинеи и Либерии, а косвенный ущерб для этих стран составил почти $ 53 млрд [32].

Одним из значимых факторов влияния эпидемий на экономику является развитие информационных технологий. **Так, если раньше развитие эпидемий интересовало преимущественно только профессионалов, то в настоящий момент наблюдается эффект «информационных эпидемий». Эксперты Всемирного банка считают, что только 39% экономических потерь приходится напрямую на заболевших. Основная часть «ущерба» приходится на здоровых людей, которые меняют свое поведение, пытаясь избежать заражения.** Например, вспышка Ближневосточного респираторного синдрома (коронавируса MERS) в Республике Корея в 2015 году привела к тому, что заразилось 200 человек, из которых 38 умерло, при этом 17 000 человек подверглись карантинным мерам, а расходы на борьбу с инфекцией составили $ 8,5 млрд [32].

Одним из важных препятствий в профилактике эпидемий, по мнению экспертов Всемирного экономического форума, является «отрицание» правительствами угрозы инфекций до момента реального заражения большого количества граждан [32].

Так, в январе 2020 года портал visualcapitalist.com на основе данных Всемирного экономического форума уже в начале эпидемии коронавируса сформировал ландшафт глобальных рисков 2020, выделив риски окружающей среды, социальные, геополитические, экономические и технологические. При этом первоначальные данные Всемирный экономический форум формировал на основе 800 мнений лидеров бизнеса, государственного управления и некоммерческих организаций (НКО) [33].

Рисунок 4. Оценка порталом Visualcapitalist.com глобальных рисков в 2020 году (январь 2020 года)



Источник: Центр НТИ СПбПУ на основе материалов Visualcapitalist.com, «Визуализация самых больших рисков для мировой экономики в 2020 году», 2020 [33]

Согласно проведенной оценке, риски ранжировались по степени вероятности наступления и по степени влияния. В прогнозе лидерами по вероятности и влиянию рисков стали экологические риски: природные бедствия, экологические бедствия, вызванные влиянием человека, снижение биоразнообразия. Помимо этого, к рискам такого типа были отнесены кибератаки.

В центре графа (средняя вероятность наступления и средняя вероятность влияния) традиционные риски финансовой, экономической и политической нестабильности.

Наконец, риски инфекционных заболеваний отнесены к наиболее значимым, однако их вероятность (январь 2020 года) оценивалась ниже средней [33].

Уже 25 марта 2020 года Эд Йонг формирует новый список рисков и возможностей уже непосредственно от эпидемии, среди которых кризис безработицы и экономических последствий, рост ментальных расстройств и заболеваний, в том числе среди работников системы здравоохранения, рост домашнего насилия, связанного в том числе с длительной самоизоляцией, катализация социальных изменений, сдвиг внимания правительства к инвестициям в систему здравоохранения [31].

3) Другой тренд публикаций – ожидание заката национальных экономик и глобализации в целом. Новый кризис приведет к «закату» одних экономик (отраслей / технологий / систем и пр.) и росту других

Так, в марте 2020 года в журнале Forbes вышла статья Кеннета Рапозы (Kenneth Raposa) «Коронавирус может привести к закату Китая как глобального производственного хаба» («Coronavirus Could Be The End Of China As A Global Manufacturing Hub»). Автор приводит аргументы, что вспышка заболевания в Китайской Народной Республике (КНР) окажет долгосрочный эффект на экономику КНР. В том числе автор утверждал: «Коронавирус – это лебединая песня КНР. Китай больше не может быть недорогим мировым производителем. Эти дни подходят к концу»[3]. По мнению автора, место КНР в качестве партнера США в будущем заменит Мексика [37].

Рисунок 5. Примеры заголовков публицистических статей о последствиях коронавируса (март – апрель 2020 года). Заголовки слева направо: «Коронавирус приведет к закату КНР как глобального производственного хаба», «Нормальная экономика никогда не вернется назад», «Новый коронавирус окажет длительное влияние на глобальные цепи поставок»

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам источников, 2020 [37–39]

Статья Адама Туза (Adam Tooze) в журнале «Внешняя политика» (Foreign Policy) в апреле 2020 года озаглавлена как «Нормальная экономика никогда не вернется назад» («The Normal Economy Is Never Coming Back»). Автор утверждает, что экономика США находится в состоянии «свободного падения», и темпы этого падения в 4 раза быстрее темпов Великой депрессии 1930 годов. В качестве одного из аргументов автор приводит информацию о том, что к концу марта безработица в США достигла 13%, что является наиболее высоким показателем со времени Второй мировой войны. Другой его аргумент – кризис сферы услуг, где занято 80% американцев. Общую ситуацию пандемии автора называет «радикальной неуверенностью». Один из ключевых риторических вопросов статьи: «Как много времени пройдет перед тем, как мы заявим о ремиссии?» [39]. Другие эксперты, например, прогнозируют «падение капитализма» как последствие пандемии [40].

3 При этом КНР вышел на «плато» по количеству (снижение прироста) уже 19 февраля 2020 года, а 29 марта 2020 года власти КНР заявили, что эпидемия завершилась, в то время как в США активный прирост новых случаев – только с 18 марта 2020 года [34–36].

Элиф Шафак (Elif Shafak) – турецкая и британская писательница, отмечает, что пандемия COVID-19 – это конец глобализации в том виде, в котором мы ее знаем. Парадокс заключается в том, что именно в то время, когда мир столкнулся с по-настоящему глобальными проблемами, необходима кооперация и солидарность, наблюдается обратный тренд – к изоляционизму и регионализации. Таким образом человечество вступило в эру пессимизма (age of pessimism), которая чревата ростом популизма и различных форм национализма. Новая глобализация должна фокусироваться на проблемах охраны окружающей среды и здравоохранения.

Элиф Шафак (Elif Shafak) Турецко-британская писательница
(Источник фотографии: Wikipedia)

Джон Грэй (John Gray), заслуженный профессор Европейской мысли в Лондонской школе экономики (London School of Economics), отмечает, что глобальный порядок накануне пандемии был очень хрупким. Если бы не появился вирус, появилось бы какое-то другое глобальное событие (например, ускорение климатических изменений), которое бы привело к закату эры глобализации.

Пандемия ускорила несколько существовавших трендов, таких как «закат западного мира», ослабление международных институтов, фрагментацию Европейского союза (ЕС). Все эти факторы вместе сильно влияют на глобальную повестку. Другими сопутствующими факторами является развитие государства «надзора» в КНР и западных странах, переход от реальных взаимодействий к виртуальной коммуникации, расширение вмешательства государства в экономику. Одним из последствий пандемии Грэй называет крах «либерального проекта», в рамках которого мир развивался после холодной войны [24].

4) Часть статей и публикаций посвящены изменению роли государства / усилению государства за счет организации систем тотального мониторинга за населением в условиях развития эпидемии

В конце марта 2020 года в газете Financial Times вышла статья философа и историка Юваля Ноа Харари (Yuval Noah Harari) «Мир после коронавируса» («The world after coronavirus»).

Юваль Ноа Харари (Yuval Noah Harari) Историк и философ
(Источник фотографии: личная страница в сети Twitter)

Автор пишет, что в условиях кризиса мир находится на развилке двух выборов. Первая альтернатива – выбор между «тоталитарным усилением» и «расширением прав и возможностей граждан». Вторая альтернатива – выбор между национальной изоляцией и глобальной солидарностью.

Харари описывает примеры усиления тотального контроля, например, в Израиле для наблюдения за больными инфекцией осуществляется за счет видеосистемы, которая в обычное время используется для борьбы с террористами.

Если раньше «правительство» осуществляло мониторинг, на какие ссылки в смартфоне нажимает палец пользователя, то теперь в фокусе интереса государства температура самого пальца. То есть, если первый вид контроля, например, позволяет сделать выводы об интересах и предпочтениях, то второй уже о более глубоких мотивах, эмоциях, состоянии здоровья и др.

Вторая альтернатива, о которой пишет Харари, выбор между национальной изоляцией и глобальной кооперацией. Автор подчеркивает значимость глобальной кооперации по вопросам пандемии, которая также является глобальной проблемой. В этой ситуации ключевая задача – быстрое и равномерное, а также прозрачное распространение информации об эпидемии, глобальное перераспределение и концентрация ресурсов глобальной системы здравоохранения. Необходимо развитие глобальной кооперации по экономическому развитию / путешествиям. В то же время происходит обратный процесс – разобщение мирового сообщества и усиление национальной самоизоляции [41].

Джозеф Най (Joseph Nye), бывший декан Гарвардской школы управления им. Джона Ф. Кеннеди (Harvard's Kennedy School of Government) отмечает, что две крупнейших экономики мира – КНР и США, – ответили на коронавирус краткосрочными мерами с нулевой суммой в качестве результата, при этом было необходимо больше внимания уделить сотрудничеству и участию институтов. Вместо того чтобы реализовывать собственные интересы, было важно создать глобальный фонд, открытый для всех стран и кооперацию. Если будет выбран этот путь, то мир улучшится в результате эпидемии, если нет, то вирус усилит тенденции к популизму, национализму и авторитарному использованию технологий [24].

Джозеф Най (Joseph Nye) бывший декан Гарвардской Школы управления им. Джона Ф. Кеннеди
(Источник фотографии: Wikipedia)

5) Тренд ускорения технологического развития. Многие из тех трендов, развитие которых прогнозировалось в ближайшие 5–10 стали реальностью за 2–3 недели. С точки зрения технологического развития, в том числе организации бизнес-процессов, цифровизации человечество оказалось подготовленным к пандемии.

Бывший CEO (Chief Executive Officer – руководитель, генеральный директор) компании Google Эрик Шмидт (Eric Schmidt) отмечает следующие важные технологические тренды в рамках мировой пандемии. По мнению Шмидта, впервые в истории мировых кризисов у нас есть технологическая возможность противостоять вызову на глобальном уровне. Данные активно собираются по всему миру, анализируются и могут быть применены для разработки вакцины или совершенствования медицинского обслуживания.

Эрик Шмидт (Eric Schmidt) Бывший CEO Google
(Источник фотографии: Wikipedia)

Приложения, которые фиксируют контакты людей позволяют влиять на эпидемию в реальном времени, а дефицит медицинского оборудования может быть возмещен такими технологиями, как 3D-печать с использованием инструментов машинного обучения для прогнозирования того, где это оборудование может понадобиться.

С другой стороны, есть и значимые ограничения для развития технологий для мира после эпидемии. В настоящий момент активно растет интенсивность геополитической конкуренции, проблемы с цепочками поставок заставляют правительства искать внутренние альтернативы медицинскому оборудованию, также многие демократические режимы во время вируса применяли авторитарные механизмы ограничений, которые привели к нарушению индивидуальных прав и усилению центральной власти.

Еще одним следствием пандемии стало обострение трансграничного неравенства. На одной стороне оказались те общества, которые обеспечены цифровой связностью и оборудованием для социального дистанцирования, в том числе дистанционного образования. На другой

стороне – те страны, население которых в рамках выбора между выживанием и риском для здоровья выбрало выживание. Необходимо объединить усилия всего мира, чтобы у каждого жителя была базовая цифровая инфраструктура [24].

Коронавирус и новые производственные технологии

Следует отметить небольшое количество специализированных материалов, посвященных именно оценке влияния COVID-19 на промышленность и промышленные технологии. Тем не менее, запрос на такую аналитику существует, в том числе со стороны производственных компаний. Так, по оценке Statista.com, наиболее серьезными последствия пандемии коронавируса оказались для промышленного производства (25 баллов из 25) и для сферы туризма и транспорта, на третьем месте – торговля (23 балла) [42].

Рисунок 6. Влияние COVID-19 на разные секторы экономики (1 балл – минимальное влияние, 5 баллов – максимальное влияние)

Источник: Центр НТИ СПбПУ на основе материалов опроса Statista.com, 2020 [42]

Негативные последствия для промышленности можно связать с такими факторами как простой производств, транспортные и логистические проблемы цепочек поставок, высокая социальная нагрузка, снижение выручки. В ответ на эти и другие последствия COVID-19 разворачиваются следующие процессы. В статье «Какой будет новая нормальность производства после COVID-19?» («What Will Manufacturing's New Normal Be After COVID-19?»), опубликованной на портале IndustryWeek [43], отмечены следующие тренды развития промышленности:

1. **Возрождение внутреннего производства (релокация) как основа планов по созданию стратегической устойчивости.** Ключевыми компонентами будет автоматизация, развитие робототехники, что создаст новые рабочие места и возможности для работников с «цифровыми» компетенциями.

2. **Изменение цепочек поставок, особенно ориентированных на ограниченный набор поставщиков.** Поставщики будут стремиться к созданию более диверсифицированной клиентской базы.

3. **Инфраструктура данных как стратегический актив; широкое внедрение цифровых технологий.** Данные станут еще более ценным ресурсом, что приведет к увели-

чению инвестиций в подключение к данным, развертывание на производствах сетей 5G, промышленного Интернета вещей, включая распознавание, визуализацию данных, инструменты удаленной совместной работы и операций, основанных на использовании искусственного интеллекта.

4. **Внедрение средств удаленной диагностики, управления и совместной работы в промышленном производстве.** Социальное дистанцирование и другие меры, направленные на обеспечение безопасности сотрудников, приводят к сокращению на 40–50% численности работников, которые могут исполнять свои функции на месте. Это приведет к появлению «виртуальной смены», то есть группы специалистов, удаленно и постоянно подключенных в режиме онлайн, для того чтобы направлять и поддерживать деятельность сокращенной «физической смены» персонала на месте.

В краткой брошюре компании Deloitte «Понимание влияния COVID-19 на сектора экономики: технологический сектор», вышедшей в марте 2020 года («Understanding the sector impact of COVID-19: Technology sector»), выделяются следующие важные для технологий тренды [44].

1. Ускоренное распространение моделей удаленной работы и повышенное внимание к оценке и устранению рисков «сквозной» цепочки создания стоимости.

2. В долгосрочной перспективе от компаний потребуется диверсификация цепочек поставок для обеспечения устойчивости производств.

3. Потенциальные сокращения выбросов углекислого газа, возобновление внимания к практикам устойчивого развития.

4. Непредсказуемость цепочек поставок, перебои в поставках комплектующих выступают факторами, нарушающими процессы промышленного производства, в то время как сектор программного обеспечения выступает катализатором роста.

5. Рост ИТ-расходов компаний: расходов на ПО для обеспечения безопасности, проведения телеконференций; на оборудование связи, услуги облачной инфраструктуры и телекоммуникационные услуги. Производители оборудования столкнутся с растущим спросом со стороны предприятий, которые размещают крупные заказы на ноутбуки и мобильные устройства для поддержки сотрудников, работающих дистанционно.

6. Повышение роли ИТ-отделов компаний, рост потребности в содействии со стороны поставщиков ИТ-услуг в настройке гибкой и безопасной сети, систем аварийного восстановления.

7. Потребность в более быстром доступе к данным и автоматизации увеличит внимание к сетевому оборудованию и коммуникациям, ускоряя развертывание сетей и внедрения оборудования 5G.

Никола Меллусо (Nicola Melusso), Готьеро Фантони (Gualtiero Fantoni) из Университета Пизы (University of Pisa), Сильвия Фарери (Silvia Fareri) из Университета Модены (Univeristy of Modena e Reggio Emilia) и другие в статье «Свет и тени COVID-19, технология и Индустрия 4.0» («Lights and shadows of COVID-19, technology and Industry 4.0») анализируют новые публикации (март–апрель 2020 года), где рассматриваются технологические тренды, связанные с COVID-19 [45]. Среди основных трендов, выделяемых исследователями:

1. Дистанционное управление производственными площадками (Teleoperation and remote control of production sites).

2. Внедрение промышленного Интернета вещей (устройства IoT и ИТ-платформы) как вариант цифрового преобразования. Нормы социальной дистанции требуют от ком-

паний осуществления реорганизации производства путем внедрения большего количества смен для поддержания уровня производства, который был до пандемии при сокращенном количестве сотрудников на производстве. Для этого необходима глубокая трансформация машин, оборудования, технических услуг.

3. Дистанционное и профилактическое обслуживание (remote and predictive maintenance) с целью обнаружения неисправностей на уровне завода / цеха и управления оборудованием или направления действий оператора при выполнении ремонта, регулировки, сборки или замены запасных частей на удаленной основе. Применение VR- и AR-технологий для обучения процессам сборки, ремонта промышленного оборудования, удаленной помощи (remote assistance).

4. Роботизированные решения как способ снижения социальных взаимодействий и поддержания уровня производства. Коботы (cobots) с простым программированием, занимающие небольшое пространство, воспринимаются как инструмент или помощник, а не как робот, что повышает принятие технологии сотрудниками.

5. Носимые устройства, основанные на технологии Bluetooth на мобильных телефонах или на небольших платах (встроенная электроника) для отслеживания перемещений людей и распространения COVID-19 через мобильный телефон, сканирование QR-кода. Встроенные решения для промышленных условий: браслеты, брелоки, кулоны — как системы оповещения (светодиоды, вибрация), отслеживания возможных контактов с зараженным человеком.

6. Усиление проблем кибербезопасности (утечки данных, низкий уровень осведомленности в области правил безопасности) [45].

1.2. Экономические последствия пандемии COVID-19

Глобальные последствия пандемии COVID-19: по состоянию на март – май 2020 г.

В результате распространения коронавирусной инфекции (COVID-19) и реализации ограничительных мероприятий, направленных на сдерживание пандемии, весной 2020 года активно развивались глобальные кризисные явления в экономической и социальной сферах, а также происходило изменение облика промышленного производства. Вследствие стремительного развития пандемии COVID-19 с марта по май 2020 года, большинство аналитических отчетов этого периода не содержат оценок последствий кризиса и экономического ущерба, а носят прогностический характер.

В мае 2020 года Всемирный банк (World Bank) прогнозировал снижение мирового ВВП по итогам 2020 года на 5,2%. При этом ожидалось сокращение значений ВВП развитых стран на 7%, развивающихся стран – на 2,5% [46].

В соответствии с менее пессимистичным прогнозом международного агентства Fitch Ratings, опубликованном в майском отчете корпорации, к концу 2020 года ожидалось падение объемов мировой экономики на 4,6%. Примечательно, что в отчете агентства за апрель прогноз был более оптимистичным, спад прогнозировался на уровне 3,3%. В региональном разрезе, по оценке Fitch Ratings (сформированой в мае 2020), прогнозировался спад экономики Европейского союза на 7,5%, Индии – на 5%, Бразилии и Мексики – на 6–7% [46].

На фоне развития пандемии COVID-19 обострились также вопросы социального характера, такие как несовершенство системы защиты уязвимых слоев населения, проблемы регулиро-

вания трудовых отношений и пр. Так, в майском докладе Всемирного банка (World Bank) прогнозировался серьезный рост показателя бедности вследствие снижения доходов на душу населения на 3,6% в 2020 году [46].

Последствия пандемии COVID-19 для России: по состоянию на март – май 2020 г.

В отношении экономики Российской Федерации весной 2020 года также были сформированы прогнозы, предполагающие разные сценарии, зависящие от множества переменных. Например, в апреле 2020 года Центр макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования (ЦМАКП) сообщал, что в случае реализации активных антикризисных мер со стороны государственных органов наиболее вероятно снижение ВВП Российской Федерации в 2020 году на 2,3–2,5%, а в 2021 году – на 0,5–0,8%. Таким образом, согласно апрельской оценке ЦМАКП, спад экономики за двухлетний период может составить около 3%, после чего будет наблюдаться медленный рост на уровне 0,6–1%. При реализации государственной политики, предполагающей меры, направленные только лишь на стабилизацию, ЦМАКП прогнозировал сокращение ВВП в 2020 году на 3–3,3% с последующим снижением значений данного параметра на 0,8–1% в 2021 году [47].

Различные сценарии влияния COVID-19 на экономику Российской Федерации также предлагали эксперты Аналитического кредитного рейтингового агентства (АКРА). Согласно прогнозу АКРА (составлен в апреле 2020 года), предполагающему реализацию «базового сценария», в 2020 году значение ВВП снизится примерно на 4–4,5%, и в следующем году возрастет на 2–3% [48].

Таблица 1. Сценарии влияния COVID-19 на экономику Российской Федерации

Показатель /Сценарий	Среднегодовая цена на нефть, за баррель, $	Изменение ВВП в 2020 году, %	Уровень безработицы	Реальные располагаемые доходы населения, %
Оптимистичный сценарий (летом будет снята существенная часть карантинных мер)	35	-0,8	4,8 (против 4,6 в 2019 году)	-1,3
Базовый сценарий (карантин повторится из-за новой вспышки заболевания)	35	-4...-4,5	6,7	-6,4
Пессимистичный сценарий (ужесточение ограничений, ожидание появления вакцины в течение двух лет)	25	-7...-7,5	8,9	-9,9

Источник: «Эксперты АКРА допустили падение ВВП России до 7,5% в 2020 году», РБК 2020 [48]

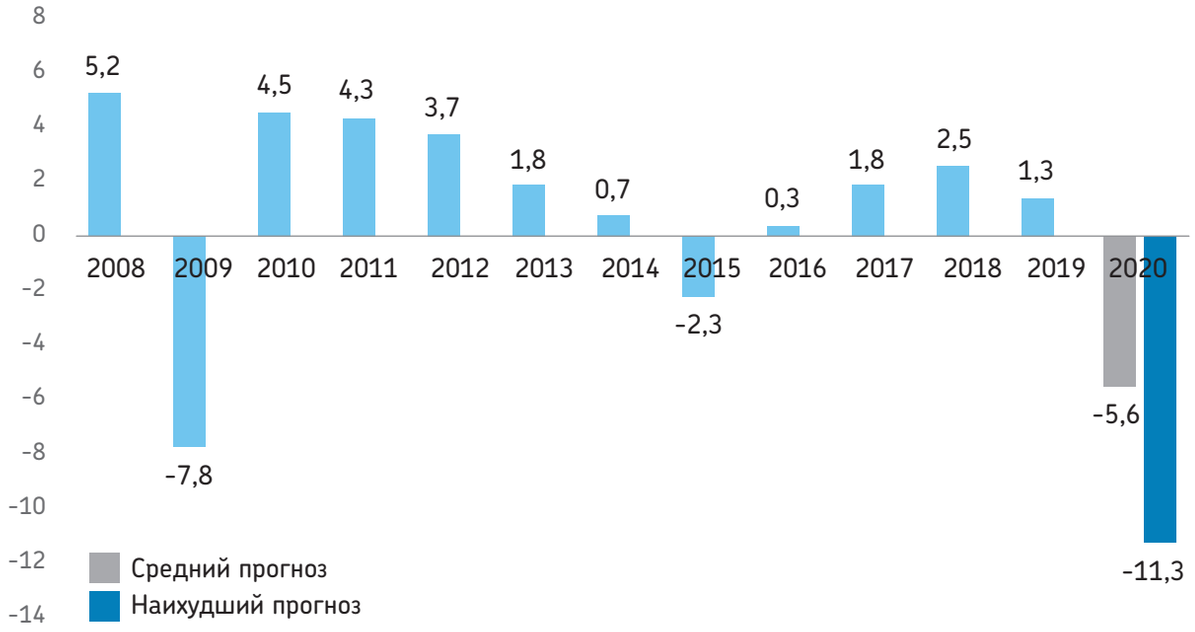
Международный валютный фонд (International Monetary Fund) в апреле 2020 года прогнозировал сокращение объема экономики Российской Федерации в 2020 году на 5,5%, к 2021 году прогнозировалось восстановление на 3,5%. По оценке экспертов ВЭБ.РФ, сформированной в апреле, в 2020 году прогнозировалось снижение ВВП Российской Федерации на 3,8%, к 2021 году прогнозировался рост на 4–4,8%. Пессимистичный сценарий, разработанный аналитиками McKinsey и Scope Ratings в апреле 2020 года, предполагал спад экономики Российской Федерации на 10–11% [48].

Таблица 2. Прогнозы снижения ВВП Российской Федерации в 2020 году

Сценарий	Показатель уровня снижения ВВП	Условия развертывания сценария
McKinsey&Company (международная консалтинговая компания)		
Сдерживание вируса	-3,8	Начало восстановления экономики с III кв. 2020
Затяжная рецессия	-10	При снижении мировой экономики на 5,7%
Scope Ratings (рейтинговое агентство, Германия)		
Базовый	-3,3	Стоимость нефти – $ 35 за баррель, снятие ограничений к III кв. 2020
Стрессовый	-8,8	Загрузка производственных мощностей на 75%
Наихудший	-11,3	Стоимость нефти – $ 20 за баррель, карантин до конца 2020 года
Всемирный банк (международная финансовая организация, США)		
Базовый	-1	Эпидемия закончится в текущем году
Неблагоприятный	-2,2	Продолжится давление на сырьевые цены
Международный валютный фонд МВФ – International Monetary Fund, IMF)	-5,5	При снижении мировой экономики на 3%
Bloomberg (США)	-10	Оценка анонимных экспертов, представителей государственного сектора
Банк Америки (Bank of America) (США)	-5,6	При снижении мировой экономики на 2,7%
Банк Германии (Deutsche Bank) (ФРГ)	-4,2	–
Goldman Sachs (США)	-5	При снижении объемов добычи нефти
Нордеа Банк (Nordea Bank) (Финляндия)	-3,5	–
Институт международных финансов (Institute of International Finance) (США)	-5,1	–
Центр стратегических разработок (ЦСР) (РФ)	-5,6	От 1,8% до 5,6% зависит от мер государственной поддержки
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) (РФ)	-2	Консенсус-прогноз 19 экспертов
А.Л. Кудрин (Председатель Счётной палаты РФ)	-5	Экономика упадет на 3–5%, но «ближе к 5%»
Б.Ю. Титов (Уполномоченный при Президенте РФ по защите прав предпринимателей)	-10	«По году могут быть двузначные цифры»
А.А. Широв (Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук, ИНП РАН) (РФ)	-5	«Спад на 4–5%, если карантин на 2–3 месяца»
Среднее значение	**-5,6**	**По данным прогнозов за 1–15 апреля 2020 года**

Источник: «Прогнозы снижения ВВП России в 2020 году (19 оценок)», РБК, Dp.ru, Regnum.ru, 2020 [49]

Рисунок 7. Динамика и прогноз изменения ВВП Российской Федерации (2008–2020 гг., %)



Источник: «Прогнозы снижения ВВП России в 2020 году (19 оценок)», Росстат, 2020 [49]

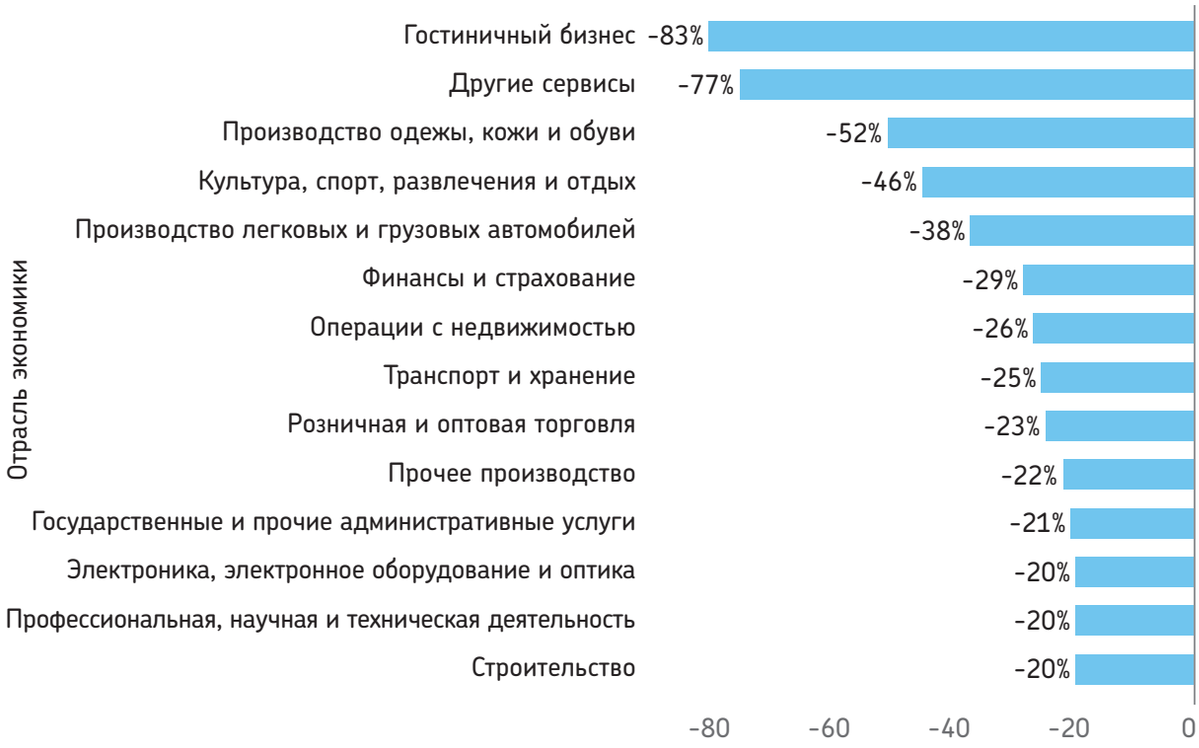
В конце апреля 2020 года аудиторско-консалтинговая компания Ernst&Young (EY) провела исследование, в котором приняли участие руководители более 230 российских организаций-представителей малого, среднего и крупного бизнеса. По результатам онлайн-опроса EY, более 80% респондентов констатировали снижение объема доходов в период пандемии COVID-19. Среди участников опроса, отметивших сокращение выручки более чем на треть, преобладали представители компаний из таких секторов, как автомобилестроение, аэропортовая деятельность, туристические услуги, сфера гостеприимства, образовательные услуги, сектор недвижимости, промышленное производство, розничная торговля, транспортные и логистические услуги [50].

Доходы металлургических компаний (черная и цветная металлургия), согласно результатам исследования EY, сократились на 10–20%. Представители организаций, специализирующихся на добыче нефти и газа, отметили, что не испытали существенного воздействия карантинных мероприятий, в то время как руководители перерабатывающих компаний отмечают отрицательную динамику вследствие сокращения потребления нефтепродуктов, вызванного ограничением активности в сфере авто- и авиаперевозок. Фармацевтические компании и представители химического производства отметили умеренный уровень влияния негативных последствий COVID-19 на их бизнес [50].

Примечательно, что среди респондентов опроса EY оказались и те, чьи доходы увеличились в период пандемии, их доля составила 6% в общем объеме участников исследования. В число таких предприятий вошли компании, реализующие товары повседневного спроса, а также производители продуктов и услуг в сфере информационно-коммуникационных технологий [50].

По прогнозам Statista.com, составленным весной 2020 года, наиболее негативные последствия предполагались для гостиничного бизнеса и кейтеринга (-83%), сектора других услуг (-77%), производства одежды, кожи и обуви (-52%) и культуры, спорта, развлечений и отдыха (-46%) [51].

Рисунок 8. Прогноз изменения добавленной стоимости по отраслям экономики в России вследствие пандемии COVID-19 (%, 2020 год)



Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам Statista.com, 2020 [51]

Согласно оценке Statista.com к наименее пострадавшим отраслям можно было отнести прочее производство (-22%), государственные услуги (-21%), электронику, электронное оборудование и оптику, профессиональную, научную и техническую деятельность, строительство (по -20%) [51].

В исследовании Statista.com отмечалось, что из-за последствий коронавирусной инфекции значительно вырастут сегменты стриминговых сервисов (51%), курьерская доставка и продукты питания (46%), фармацевтика и медицинские услуги (44%), мессенджеры и программное обеспечение для удаленной работы (43%).

По оценке экспертов Statista.com, среди мобильных приложений, которые устанавливались россиянами во время карантина, лидировали бизнес-приложения (80% средний еженедельный рост загрузок), образовательные сервисы (65%), здоровье и фитнес (45%), продукты питания и напитки (45%) [51].

Рисунок 9. Прогноз роста рынков вследствие реализации карантинных мероприятий во время пандемии COVID-19 в России (%, 2020 год)

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам Statista.com, 2020 [51]

В рамках государственной поддержки бизнеса наибольшая сумма государственных средств была выделена для субсидирования снижения налоговых и страховых платежей для малых и средних предприятий на 6 месяцев (450 млрд руб.), а также снижения страховых взносов для малого и среднего бизнеса с 30 до 15% (350 млрд руб.) [51].

Рисунок 10. Государственная поддержка бизнеса для снижения негативных последствий коронавирусной инфекции в России по типам (2020 год, млрд руб.)

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам Statista.com, 2020 [51]

По данным Statista.com, в рамках поддержки населения основными направлениями стали выплаты семьям с детьми младше 3 лет (49,7 млрд руб.), выплаты пожилым людям старше 65 лет (42,4 млрд руб.), выплаты безработным гражданам с детьми (33,4 млрд руб.) [51].

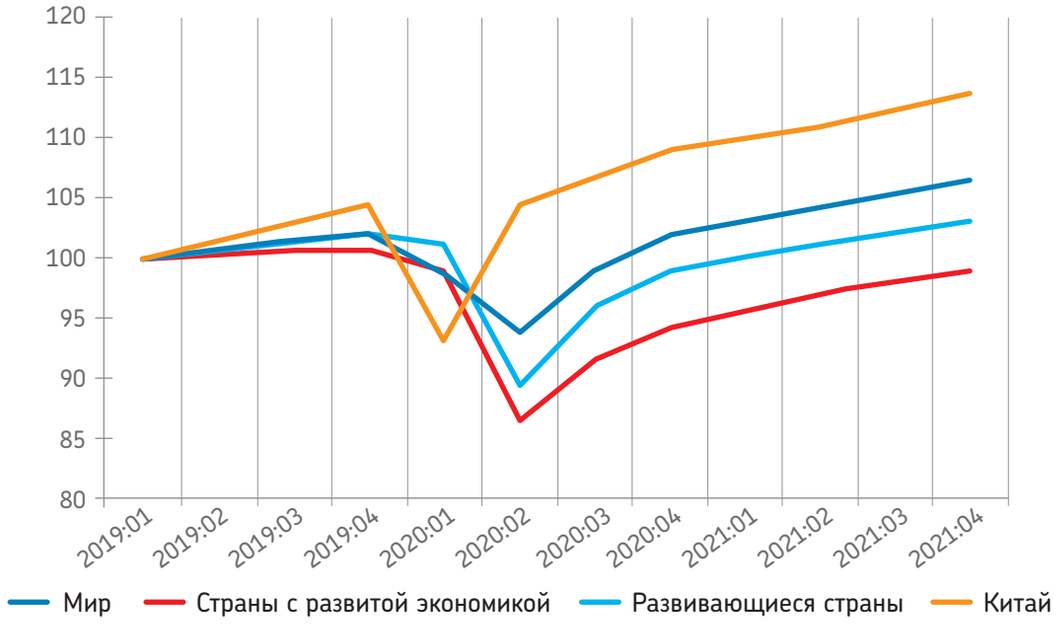
В конце мая 2020 года был представлен «Общенациональный план действий, обеспечивающих восстановление занятости и доходов населения, рост экономики и долгосрочные структурные изменения». План включает более 500 мероприятий, направленных на поддержку российской экономики и социальной сферы и снижения негативных последствий пандемии, общая стоимость мероприятий превышает 5 трлн рублей на 2020–2021 годы, одним из ключевых блоков плана является ускорение технологического развития [52]. 19 июня 2020 года доработанный план был направлен на рассмотрение Президенту Российской Федерации [53]. 23 сентября 2020 года план был одобрен на заседании Правительства Российской Федерации [54].

Глобальные последствия пандемии COVID-19: по состоянию на июнь – август 2020 г.

В период с июня по август 2020 года отмечалось появление аналитических материалов, посвященных предварительной оценке ущерба от распространения COVID-19 и реализации ограничительных мероприятий. Кроме того, в летние месяцы 2020 года были скорректированы существующие экономические прогнозы.

В июньском выпуске глобального экономического обзора Международный валютный фонд (МВФ, International Monetary Fund) прогнозировал сокращение глобальной активности во втором квартале 2020 года, в дальнейшем предполагалось постепенное восстановление данного показателя [55].

Рисунок 11. Ежеквартальный мировой ВВП (%, I квартал 2019 г. принят за 100%)



Источник: «Кризис, не похожий ни на какой другой, неуверенное восстановление», МВФ, 2020 [55]

В июне МВФ также прогнозировал спад мировой экономики на 4,9% в 2020 году, что на 1,9% ниже апрельского прогноза. В июньском обзоре МВФ отмечается снижение роста потребления в большинстве стран, что отражает более разрушительные, чем прогнозировалось ранее, последствия пандемии для национальных экономик. Также в июне МВФ оценивал рост ВВП до 5,4% к 2021 году, что на 0,4% ниже апрельского значения данного показателя [55].

Таблица 3. Прогноз World Economic Outlook (WEO), июнь 2020 (%)

	2018	2019	Прогноз	
			2020	2021
Мировое производство	3,6	2,9	-4,9	5,4
Страны с развитой экономикой	2,2	1,7	-8	4,8
США	2,9	2,3	-8	4,5
Еврозона	1,9	1,3	-10,2	6
Германия	1,5	0,6	-7,8	5,4
Франция	1,8	1,5	-12,5	7,3
Италия	0,8	0,3	-12,8	6,3
Испания	2,4	2	-12,8	6,3
Япония	0,3	0,7	-5,8	2,4
Великобритания	1,3	1,4	-10,2	6,3
Канада	2	1,7	-8,4	4,9
Другие страны с развитой экономикой	2,7	1,7	-4,8	4,2
Развивающиеся страны и рынки	4,5	3,7	-3	5,9
Азия	6,3	5,5	-0,8	7,4
Китай	6,7	6,1	1	8,2
Индия	6,1	4,2	-4,5	6
Ассоциация государств Юго-Восточной Азии (АСЕАН – Вьетнам, Индонезия, Малайзия, Таиланд, Филиппины)	5,3	4,9	-2	6,2
Европа	3,2	2,1	-5,8	4,3
Россия	2,5	1,3	-6,6	4,1
Латинская Америка и Карибский бассейн	1,1	0,1	-9,4	3,7
Бразилия	1,3	1,1	-9,1	3,6
Мексика	2,2	-0,3	-10,5	3,3
Ближний Восток и Центральная Азия	1,8	1	-4,7	3,3
Саудовская Аравия	2,4	0,3	-6,8	3,1
Страны Африки к югу от Сахары	3,2	3,1	-3,2	3,4
Нигерия	1,9	2,2	-5,4	2,6
ЮАР	0,8	0,2	-8	3,5
Для справки				
Развивающиеся страны с низкими доходами	5,1	5,2	-1	5,2
Мировой рост на основе рыночных валютных курсов	3,1	2,4	-6,1	5,3
Объем мировой торговли (товары и услуги)	3,8	0,9	-11,9	8
Страны с развитой экономикой	3,4	1,5	-13,4	7,2
Развивающиеся страны и рынки	4,5	0,1	-9,4	9,4
Цены на товарно-сырьевые ресурсы ($ США)	0	0	0	0
Нефть	29,4	-10,2	-41,1	3,8
Нетопливные (среднее на основе мирового импорта)	1,3	0,8	0,2	0,8

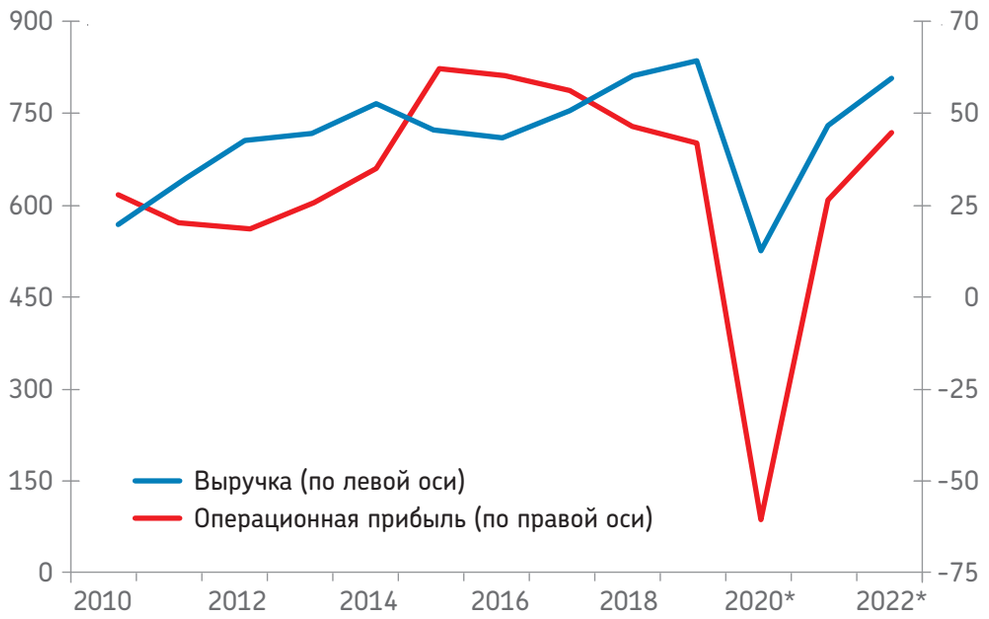
	2018	2019	Прогноз	
			2020	2021
Цены на потребительские товары	0	0	0	0
Страны с развитой экономикой	2	1,4	0,3	1,1
Развивающиеся страны и рынки	4,8	5,1	4,4	4,5
Лондонская межбанковская ставка предложения (%)	0	0	0	0
По депозитам в долларах США (шесть месяцев)	2,5	2,3	0,9	0,6
По депозитам в евро (три месяца)	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4
По депозитам в японских иенах (шесть месяцев)	0	0	0	-0,1

Источник: «Кризис, не похожий ни на какой другой, неуверенное восстановление», МВФ, 2020 [55]

Следует отметить, что пандемия коронавирусной инфекции (COVID-19) существенно отразилась на транспортной индустрии. Наиболее ярким примером может послужить сектор авиаперевозок. В июне 2020 года французская страховая компания Euler Hermes опубликовала исследование, в котором прогнозировала падение спроса на авиаперевозки в 2020 году на 37%, с последующим восстановлением: в 2021 году – +39%, в 2022 году – +10%. Согласно исследованию, достижение показателей спроса, наблюдавшихся до пандемии COVID-19, возможно к 2023 году [56].

По оценкам экспертов Euler Hermes, снижение спроса на услуги авиатранспортной отрасли в 2020 году приведет к глобальному сокращению выручки компаний. Ожидается падение доходов авиаперевозчиков до отметки $ 525 млрд (-$ 310 млрд), а также достижение рекордных показателей операционного убытка – $ 60 млрд на фоне отрицательной рентабельности. Наиболее неблагоприятная ситуация сложилась среди частных бюджетных авиаперевозчиков, напрямую зависящих от заполняемости авиасудов. К июню 2020 года финансовый крах потерпели три авиакомпании: Virgin Australia (Австралия), Avianca (Бразилия) и Latam (Чили), – Euler Hermes отмечает, что в период 2021–2022 годов число обанкротившихся компаний данного типа будет неуклонно расти.

Рисунок 12. Доходы от продаж и операционная прибыль сектора воздушного транспорта (2010–2022 гг., $ млрд)



Источник: «Неудачная посадка: 2020 год будет ужасным для авиаперевозок», Euler Hermes, 2020 [56]

Кроме того, в исследовании Euler Hermes отмечается, что последствия COVID-19 будут заметны не только в части экономических показателей, но также коснутся непосредственно сотрудников, занятых в отрасли авиаперевозок. Euler Hermes прогнозирует сокращение примерно 30% рабочих мест, что составит около 750 тыс. чел., занимающих должности пилотов, бортпроводников, персонала, занимающегося ремонтом техники, обслуживанием багажа и пр. [56]

Снижение пассажиропотока в авиатранспортной отрасли закономерно оказало негативное воздействие на авиастроительный сектор промышленности. Генеральный директор крупнейшей международной компании Airbus SE Гийом Фори (Guillaume Faury) в интервью немецкому изданию Die Welt отметил, что в связи с введением ограничительных мер, вызванных пандемией COVID-19, план компании по поставкам продукции был выполнен только на 20% (14 из 75 самолетов). Гийом Фори предположил, что восстановить объем поставок до уровня 2019 года удастся лишь в 2025 году. Среди антикризисных мер концерна Гийом Фори выделил решение по годовому выпуску не более 40 наиболее продаваемых узкофюзеляжных самолетов серии A320. Кроме того, концерн планирует начать сокращение персонала, по оценкам аналитиков Die Welt, потерять рабочие места могут 12–15 тыс. человек, что составляет 13–17% сотрудников концерна [57].

По оценкам Euler Hermes, государственная поддержка авиатранспортной отрасли к середине мая 2020 года достигла $ 123 млрд, среди которых: $ 60 млрд – заемные средства, $ 35 млрд – выделены на помощь в трудоустройстве, $ 16 млрд – обеспечение кредита, $ 35 млрд – государственное финансирование. Наибольшая государственная поддержка была оказана авиатранспортной отрасли со стороны правительства в США. Общая сумма помощи составила $ 50 млрд, что эквивалентно 25% годового дохода авиакомпаний США. Европа заняла второе место по объемам государственной поддержки, составившей 15% годовых доходов авиакомпаний в регионе. Азия находится на третьей позиции с государственной поддержкой в размере 10%. Наименьшая поддержка со стороны государства была оказана авиакомпаниям на Ближнем Востоке [56].

Помимо этого, разрушение глобальных цепочек поставок оказало существенное влияние на сектор торговли, а также на уровень доходов малых и средних предприятий (МСП) по всему миру. Согласно докладу «Перспективы конкурентоспособности МСП», представленному Международным торговым центром (International Trade Centre, ITC) в июне 2020 года, прогнозировалось, что потери компаний малого и среднего бизнеса в 2020 году могут превысить $ 126 млрд [58]. По данным Всемирной туристской организации (United Nations World Tourism Organization, UNWTO), значительные убытки понесли представители туристического бизнеса, на июнь 2020 года потери сектора оцениваются в $ 1,2 трлн [59].

Последствия пандемии COVID-19 для России: по состоянию на июнь – август 2020 г.

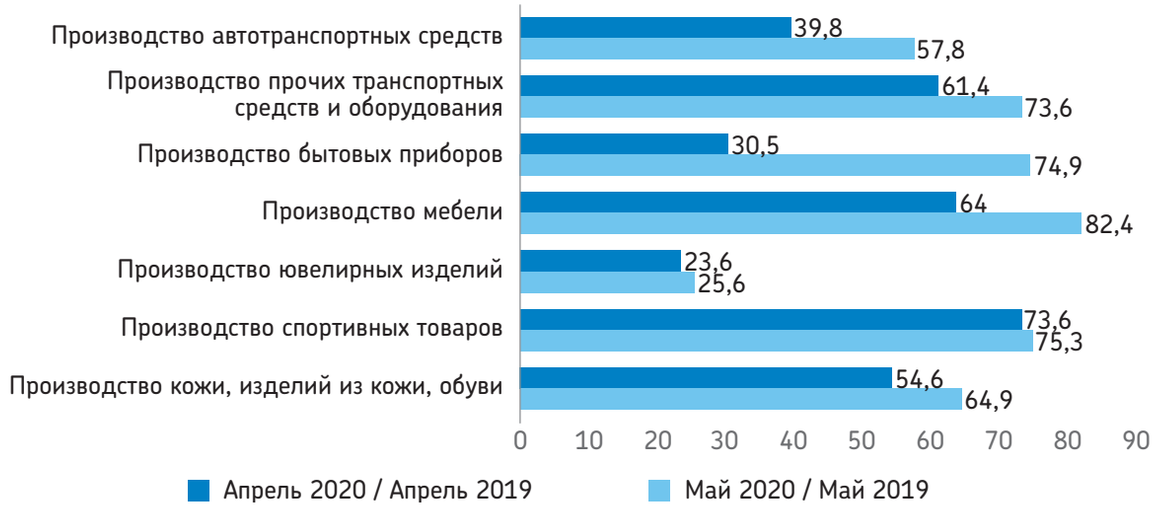
По данным Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, численность безработных граждан в Российской Федерации по состоянию на июнь 2020 года превысила отметку 4,5 млн чел (прирост за 2 месяца составил 1 млн 50 тыс. чел.). В то же время темпы роста безработицы замедлились по сравнению с первыми месяцами пандемии COVID-19: в апреле – мае численность официально зарегистрированных безработных граждан составляла около 220 тыс. чел. в неделю, в июне – 155 тыс. чел. в неделю [60].

Российские компании не стали исключением и также столкнулись с негативными эффектами, вызванными ограничительными мерами в связи с COVID-19. Сокращение значений экономических показателей промышленного производства в Российской Федерации в апреле 2020 года составило 6,6%, к маю темп снижения показателей ускорился, сокращение достигло отметки 9,6% [61].

В исследовании Центра макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования (ЦМАКП), опубликованном в июне 2020 года, отмечалось неравномерное распространение кризисных явлений в промышленных сегментах Российской Федерации. В исследовании ЦМАКП отрасли промышленности были разделены на четыре группы в зависимости от степени ущерба, понесенного в результате пандемии COVID-19: «самые пострадавшие», «умеренно пострадавшие», «не пострадавшие», «выигравшие» [61].

В первую группу попали секторы промышленности, столкнувшиеся с наиболее разрушительными последствиями, которые были выражены в кратном снижении выпуска продукции в апреле, лишь незначительно компенсированном в мае 2020 года. Всего к числу «самых пострадавших» были отнесены семь отраслей. По состоянию на апрель 2020 года наиболее существенное падение показателей в годовом выражении наблюдалось в производстве ювелирных изделий (-76,4%), бытовых приборов (-69,5%), автомобильного транспорта (-60,2%).

Рисунок 13. Уровень производства в годовом выражении в отраслях промышленности Российской Федерации, которые сильно пострадали от кризиса в связи с пандемией COVID-19 (апрель – май 2020 года, %)



Источник: «Какие отрасли российской промышленности пострадали от пандемии коронавируса сильнее всего», ЦМАКП, 2020 [61]

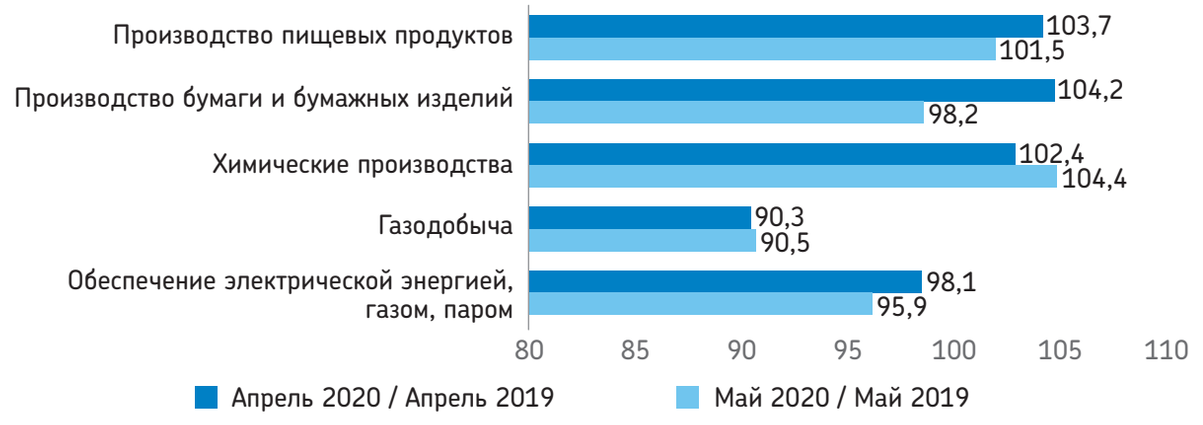
Ко второй группе – «умеренно пострадавших» – были отнесены сегменты промышленности, в которых в апреле 2020 года производство сократилось меньше, чем на треть (в годовом выражении), а в мае произошло восстановление до уровня 80–90% относительно значений, зафиксированных по состоянию на май 2019 года. В данную группу вошли десять отраслей. Наиболее заметное снижение производства в апреле 2020 года произошло в секторах электрооборудования (-28,8%) и одежды (-27,6%).

Рисунок 14. Уровень производства в годовом выражении в отраслях промышленности Российской Федерации, умеренно пострадавших от кризиса в связи с пандемией COVID-19 (апрель – май 2020 года, %)

Источник: «Какие отрасли российской промышленности пострадали от пандемии коронавируса сильнее всего», ЦМАКП, 2020 [61]

В третью группу вошли пять отраслей промышленности, которые не испытали существенных негативных изменений, поскольку устойчивый спрос позволил продолжить выпуск продукции на стабильном уровне в период с апреля по май 2020 года. Наименьшую производительность в данной группе в исследуемом периоде продемонстрировали сегменты добычи газа и обеспечения электроэнергией, газом и паром. В химической отрасли, а также в сегментах бумажных изделий и продуктов питания в мае – апреле 2020 года наблюдалось небольшое увеличение производства (прирост варьировался от 1,5 до 4,4%).

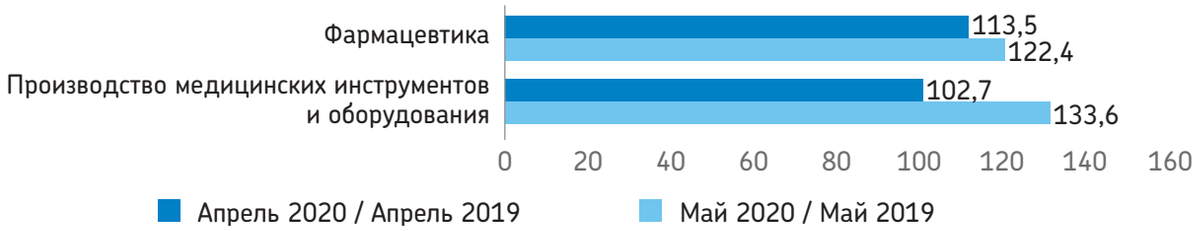
Рисунок 15. Уровень производства в годовом выражении в отраслях промышленности Российской Федерации, не пострадавших от кризиса в связи с пандемией COVID-19 (апрель – май 2020 года, %)



Источник: «Какие отрасли российской промышленности пострадали от пандемии коронавируса сильнее всего», ЦМАКП, 2020 [61]

Четвертая группа («выигравшие») представлена отраслями, в которых во время пандемии COVID-19 наблюдалась положительная динамика производительности. В нее вошли секторы фармацевтики, а также медицинских инструментов и оборудования.

Рисунок 16. Уровень производства в годовом выражении в отраслях промышленности Российской Федерации, выигравших от кризиса в связи с пандемией COVID-19 (апрель – май 2020 года, %)



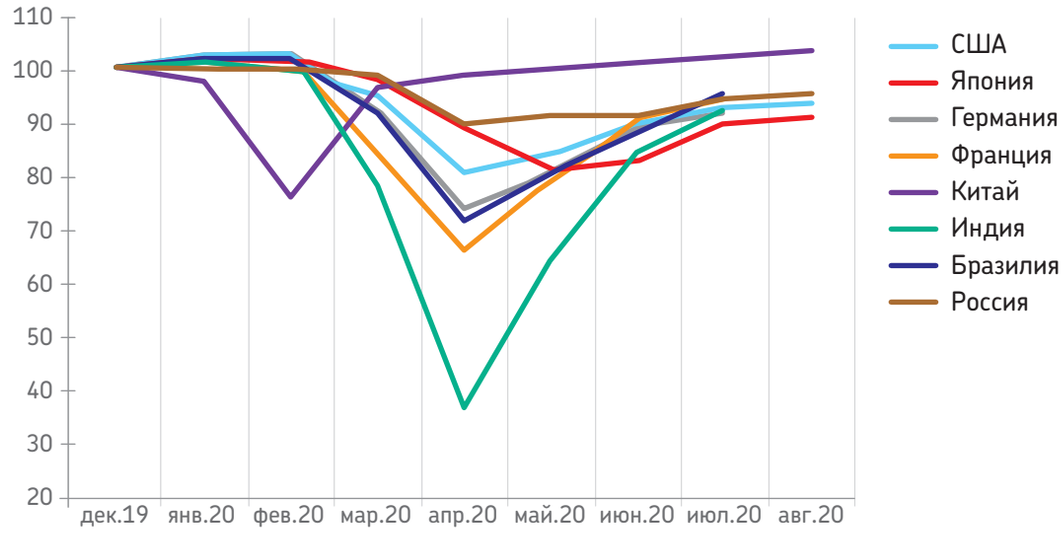
Источник: «Какие отрасли российской промышленности пострадали от пандемии коронавируса сильнее всего», ЦМАКП, 2020 [61]

Глобальные последствия пандемии COVID-19: по состоянию на сентябрь – октябрь 2020 г.

К концу лета 2020 года наблюдалось постепенное смягчение ограничительных мероприятий, направленных на сдерживание пандемии COVID-19, что закономерно отразилось на мировой экономической активности. Таким образом, в осенние месяцы вновь были пересмотрены прогнозы в отношении глобальной экономической ситуации, с учетом данных о последствиях пандемии, полученных за первые три квартала 2020 года.

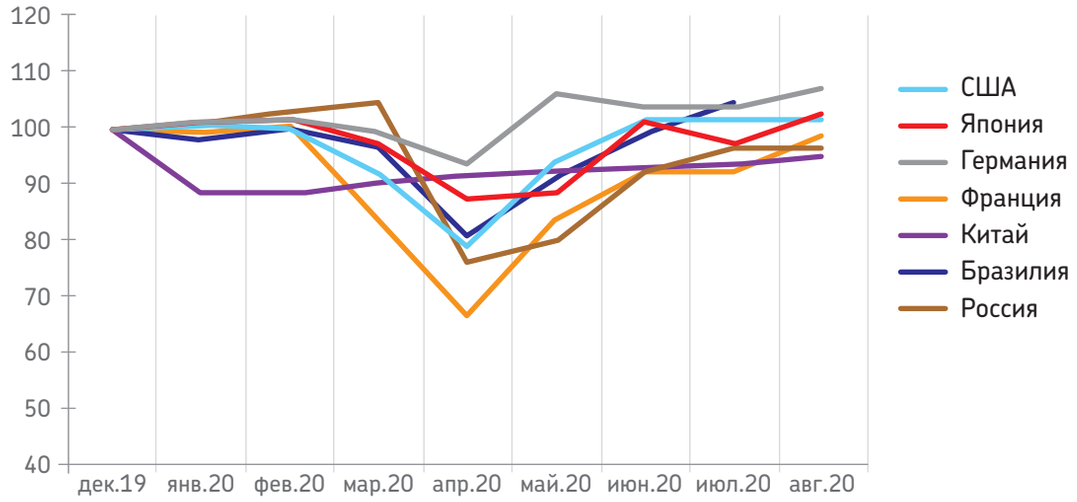
Согласно обновленному глобальному экономическому обзору Международного валютного фонда (по состоянию на октябрь 2020 года), в течение летних месяцев экономическая активность заметно возросла по сравнению с резким спадом, который наблюдался в апреле. Наиболее заметное восстановление отмечается в сфере розничных продаж вследствие роста потребительских расходов. Что касается промышленности, по состоянию на октябрь 2020 года показатели производства во многих странах все еще значительно ниже, чем в декабре 2019 года [62].

Рисунок 17. Изменения в сфере промышленного производства на примере обрабатывающей промышленности (индекс, декабрь 2019 г. = 100; с учетом сезонных колебаний)



Источник: «Долгое и трудное восхождение», МВФ, 2020 [62]

Рисунок 18. Изменения объема розничных продаж (индекс, декабрь 2019 г. = 100; с учетом сезонных колебаний)



Источник: «Кризис, не похожий ни на какой другой, неуверенное восстановление», МВФ, 2020 [55]

По прогнозам Международного валютного фонда, сформированным в октябре 2020 года, сокращение мирового ВВП составит -4,4% в 2020 году, что на 0,8% выше июньского прогноза. В обзоре МВФ отмечается, что в третьем квартале 2020 года наблюдался устойчивый восстановительный эффект, и ожидается, что он будет постепенно усиливаться в течение 2021 года [55].

В соответствии с оценкой МВФ, значение ВВП в группе стран с развитой экономикой в 2020 году составит -5,8%. В 2021 году темпы экономического роста развитых стран увеличатся до 3,9%. Для стран с развивающейся экономикой МВФ прогнозирует ВВП на уровне -3,3% в 2020 году и рост до 6% к 2021 году [55].

Таблица 4. Прогноз World Economic Outlook (WEO), октябрь 2020 (%)

	2019	Прогноз		Отличие от прогноза за июнь 2020		Отличие от прогноза за апрель 2020	
		2020	2021	2022	2023	2024	2025
Мировое производство	2,8	-4,4	5,2	0,8	-0,2	-1,1	-0,5
Страны с развитой экономикой	1,7	-5,8	3,9	2,3	-0,9	0,3	-0,6
США	2,2	-4,3	3,1	3,7	-1,4	1,6	-1,6
Еврозона	1,3	-8,3	5,2	1,9	-0,8	-0,8	0,5
Германия	0,6	-0,6	4,2	1,8	-1,2	1,0	-1,0
Франция	1,5	-9,8	6,0	2,7	-1,3	-2,6	1,5
Италия	0,3	-10,6	5,2	2,2	-1,1	-1,5	0,4
Испания	2,0	-12,8	7,2	0,0	0,9	-4,8	2,9
Япония	0,7	-5,3	2,3	0,5	-0,1	-0,1	-0,7
Великобритания	1,5	-9,8	5,9	0,4	-0,4	-3,3	1,9
Канада	1,7	-7,1	5,2	1,3	0,3	-0,9	1,0
Другие страны с развитой экономикой	1,7	-3,8	3,6	1,1	-0,6	0,8	-1,0
Развивающиеся страны и рынки	3,7	-3,3	6,0	-0,2	0,2	-2,1	-0,5
Азия	5,5	-1,7	8,0	-0,9	0,6	-2,7	-0,5

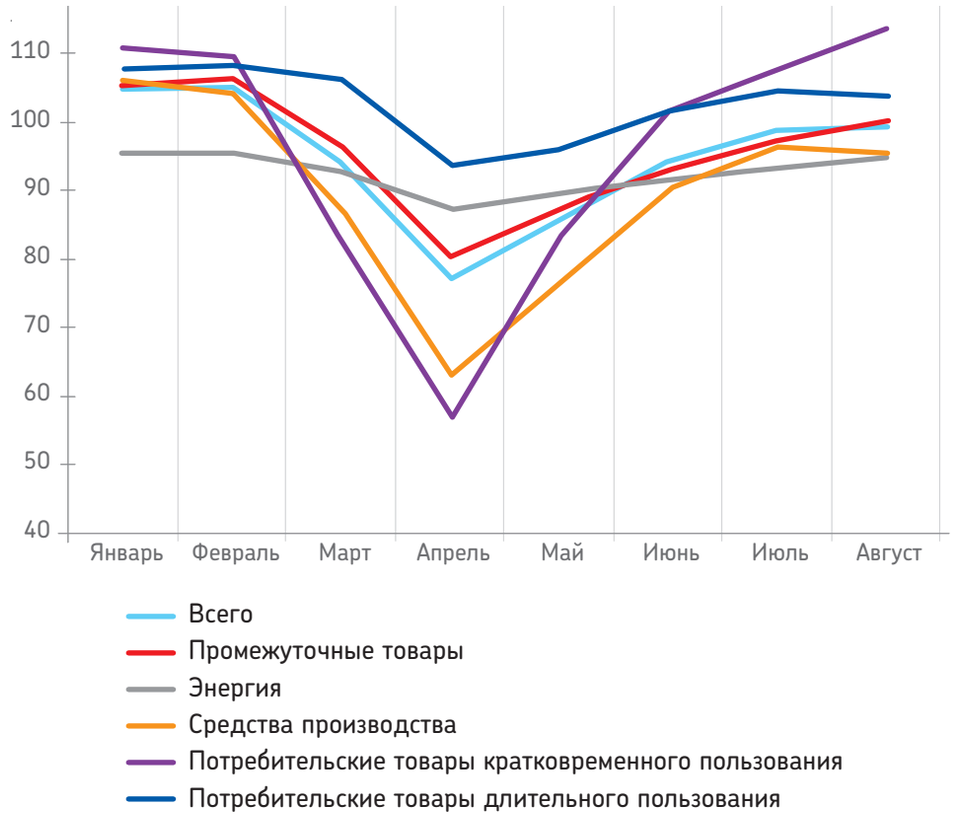
	2019	Прогноз		Отличие от прогноза за июнь 2020		Отличие от прогноза за апрель 2020	
		2020	2021	2022	2023	2024	2025
Китай	6,1	1,9	8,2	0,9	0,0	0,7	-1,0
Индия	4,2	-10,3	8,8	-5,8	2,8	-12,2	1,4
Ассоциация государств Юго-Восточной Азии (АСЕАН – Вьетнам, Индонезия, Малайзия, Таиланд, Филиппины)	4,9	-3,4	6,2	-1,4	0,0	-2,8	-1,5
Европа	2,1	-4,6	3,9	1,2	-0,3	0,6	-0,3
Россия	1,3	-4,1	2,8	2,5	-1,3	1,4	-0,7
Латинская Америка и Карибский бассейн	0,0	-8,1	3,6	1,3	-0,1	-2,9	0,2
Бразилия	1,1	-5,8	2,8	3,3	-0,8	-0,5	-0,1
Мексика	-0,3	-9,0	3,5	1,5	0,2	-2,4	0,5
Ближний Восток и Центральная Азия	1,4	-4,1	3,0	0,4	-0,5	-1,3	-1,0
Саудовская Аравия	0,3	-5,4	3,1	1,4	0,0	-3,1	0,2
Страны Африки к югу от Сахары	3,2	-3,0	3,1	0,2	-0,3	-1,4	-1,0
Нигерия	2,2	-4,3	1,7	1,1	-0,9	-0,9	-0,7
ЮАР	0,2	-8,0	3,0	0,0	-0,5	-2,2	-1,0
Для справки							
Развивающиеся страны с низкими доходами	5,3	-1,2	4,9	-0,2	-0,3	-1,6	-0,7
Ближний Восток и Северная Африка	0,8	-5,0	3,2	0,7	-0,5	-1,8	-1,0
Мировой рост на основе рыночных валютных курсов	2,4	-4,7	4,8	1,4	-0,5	-0,5	-0,6
Объем мировой торговли (товары и услуги)	1,0	-10,4	8,3	1,5	0,3	0,6	-0,1
Импорт							
Страны с развитой экономикой	1,7	-11,5	7,3	1,7	0,1	0,0	-0,2
Развивающиеся страны и рынки	-0,6	-9,4	11,0	0,0	1,6	-1,2	1,9
Экспорт							
Страны с развитой экономикой	1,3	-11,6	7,0	2,0	-0,2	1,2	-0,4
Развивающиеся страны и рынки	0,9	-7,7	9,5	1,6	0,2	1,9	-1,5
Цены на товарно-сырьевые ресурсы ($ США)							
Нефть	-10,2	-32,1	12,0	9,0	8,2	9,9	5,7
Нетопливные (среднее на основе мирового импорта)	0,8	5,6	5,1	5,4	4,3	6,7	5,7
Цены на потребительские товары							
Страны с развитой экономикой	1,4	0,8	1,6	0,5	0,5	0,3	0,1
Развивающиеся страны и рынки	5,1	5,0	4,7	0,5	0,1	0,3	0,2
Лондонская межбанковская ставка предложения (%)							
По депозитам в долларах США (шесть месяцев)	2,3	0,7	0,4	-0,2	-0,2	0,0	-0,2
По депозитам в евро (три месяца)	-0,4	-0,4	-0,5	0,0	-0,1	0,0	-0,1
По депозитам в японских иенах (шесть месяцев)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1

Источник: «Долгое и трудное восхождение», МВФ, 2020 [62]

В октябре 2020 был опубликован отчет Евростата (Eurostat), описывающий экономическую ситуацию в условиях пандемии COVID-19 в странах Европейского союза (ЕС). Для снижения распространения коронавирусной инфекции COVID-19 государствами-членами ЕС был реализован широкий спектр ограничительных мер. Подавляющее большинство профилактических мер было введено в середине марта; большинство из них действовало на протяжении апреля 2020 года, что отразилось на развитии промышленного сектора экономики. Далее, вследствие постепенной отмены / снижения объема и строгости ограничительных мероприятий, в период с мая по август в сфере промышленного производства можно было наблюдать восстановительный эффект [63].

По данным Евростата (Eurostat), в августе 2020 года объемы промышленного производства в странах Европейского союза увеличились на 1% по сравнению с предыдущим месяцем. В июле, июне и мае 2020 года показатели производства выросли на 4,9%, 9,6% и 11,6% соответственно после резкого снижения в апреле (-18,2%) и марте (-10,7%). В целом промышленное производство достигло отметки 94,7% от докризисного уровня [63].

Рисунок 19. ЕС-27, развитие промышленного производства, январь – август 2020 г. (%, 2015=100)



Источник: «Влияние кризиса Covid-19 на промышленное производство», Eurostat, 2020 [63]

2. ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ПОДХОДЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ

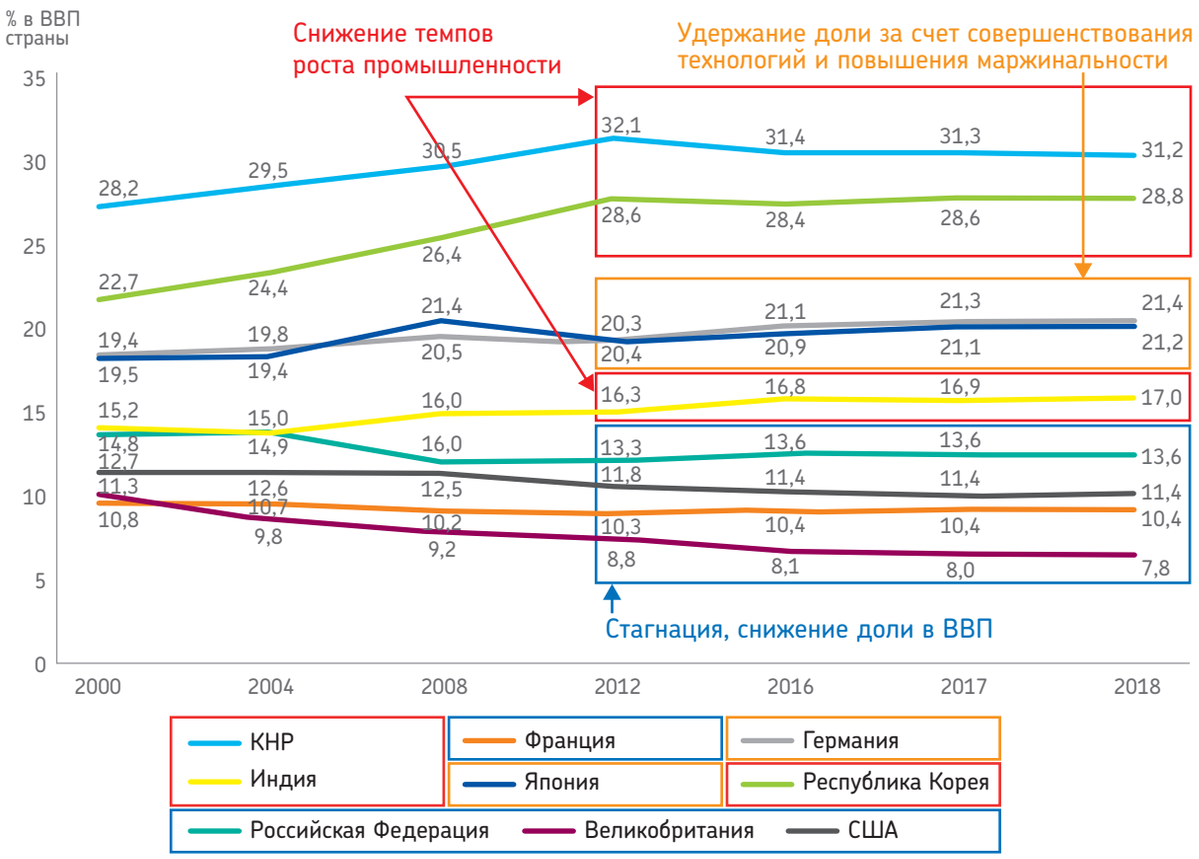
А. И. Боровков, К.В. Кукушкин, Л.А. Щербина, Ю.А. Рябов, А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская (СПбПУ)

2.1. Четвертая промышленная революция: статус и перспективы

В основе четвертой промышленной революции лежат два глобальных процесса:

1) Первый процесс – снижение доли промышленного производства в ВВП стран «развитого» мира и рост аутсорсинга, а затем – локализация промышленного производства в странах развивающегося мира.

Рисунок 20. Динамика изменения доли промышленных производств в ВВП некоторых стран мира (%, 2000–2018 годы)



Источник: «Производство, добавленная стоимость (% ВВП)», Всемирный банк, 2020 [64]

На графике условно можно выделить четыре группы стран по трендам изменения доли промышленных производств в ВВП.

- Первая группа – замедление темпов прироста / снижение доли промышленного производства в ВВП. Такая ситуация характерна для КНР и Республики Корея. Перелом произошел в 2012–2013 годах. Процесс может быть связан с постепенным завершением этапа промышленной модернизации для этих стран, ростом заработной платы в промышленной сфере.

- Вторая группа – удержание доли промышленности в ВВП за счет совершенствования технологий и повышения маржинальности выпускаемой продукции. В этой ситуации оказались такие «постиндустриальные» страны, как Германия и Япония. Удержание доли осуществляется за счет высокой специализации предприятий и производства высокотехнологичной дорогостоящей продукции.

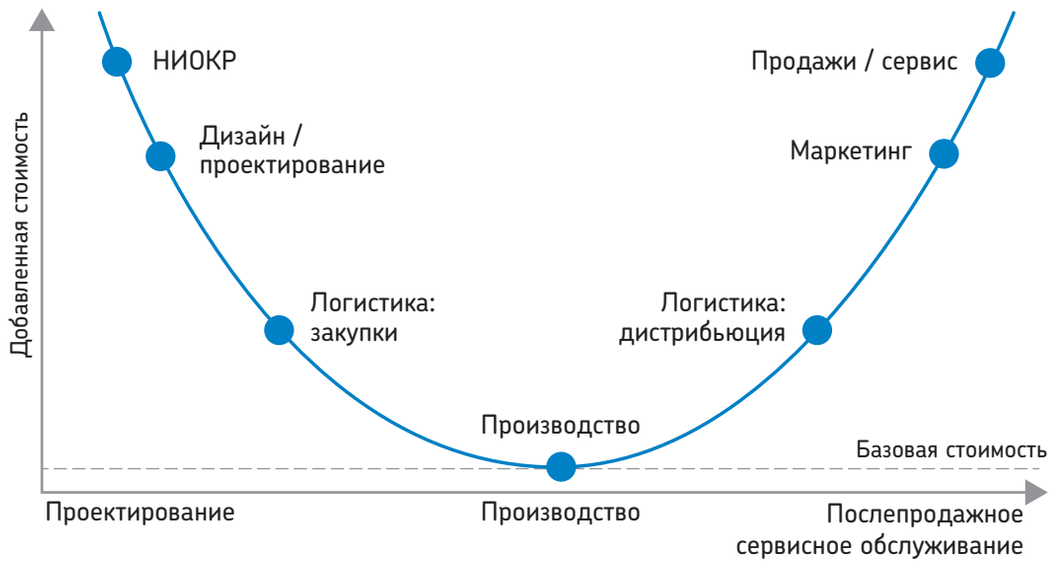
- Третья группа – рост доли промышленности в структуре ВВП. Промышленная модернизация характерна, например, для Индии.

- Четвертая группа – снижение доли промышленности в структуре ВВП вследствие аутсорсинга производства, перехода к экономике услуг, трансформации цепочек добавленной стоимости: США, Франция, Россия, Великобритания.

Все представленные группы демонстрируют повышенный спрос на передовые производственные технологии и решения, некоторые страны – для остановки рецессии промышленного производства (США, Великобритания, Россия), некоторые – для поддержания роста, стабилизации роста (КНР, Республика Корея, Япония, Германия), некоторые – для ускорения роста модернизации на основе индустриализации (Индия).

2) Второй процесс – смещение маржинальности от непосредственно процесса производства на стадию проектирования и послепродажного сервисного обслуживания.

Рисунок 21. Кривая добавленной стоимости (smiling curve)



Источник: ИППТ СПбПУ по материалам Stan Shih и ОЭСР 1992 года

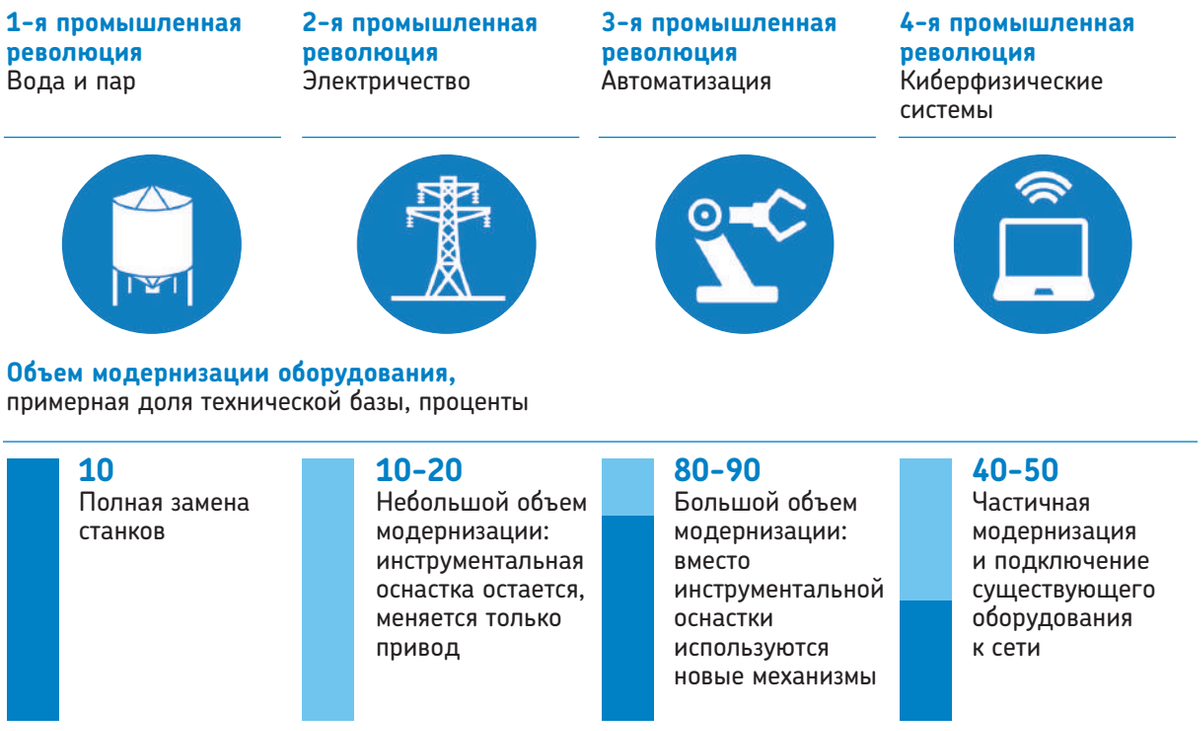
Согласно отчету Международного валютного фонда, кривая добавленной стоимости (smiling curve) наблюдается не только в этапах производства продукта, но и в транснациональных цепочках добавленной стоимости, в рамках которых этапы производства разделены по отдельным странам мира. Так, еще в 2009 году кривая добавленной стоимости по экспорту электрического и оптического оборудования показывала схожую ситуацию в разрезе отдельных стран-поставщиков. Если условные «проектирование» и повышенная маржинальность (а также ставки сотрудников в час) по этому сегменту, а также «послепродажное сервисное обслуживание» приходились на Японию, США, Канаду, Францию и др., то сборка (производство) оборудования приходилась на КНР, как и большая часть добавленной стоимости (до $ 60 млрд).

Авторы доклада отмечают, что произведенная продукция маркировалась как импорт из КНР, когда как в процессе создания продукта принимало участие большое количество других стран. Также отмечается, что после производства продукции значительная добавленная стоимость появляется за счет предоставления услуг транспортными компаниями, которые доставляют продукт от границы государства и «до двери» клиента [65].

3) Внедрение новых технологий на существующих производствах.

Всемирный экономический форум и McKinsey&Company в докладе о четвертой промышленной революции проанализировали опыт передовых компаний. В частности, в рамках исследования были выделены предприятия-лидеры или, в терминологии Всемирного экономического форума (ВЭФ), «маяки», чей опыт был проанализирован.

Рисунок 22. Промышленные революции и модернизация оборудования



Источник: «Четвертая промышленная революция. Целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций», ВЭФ, McKinsey, 2020 [66]

Если третья промышленная революция была связана преимущественно с автоматизацией, объем которой затронул 80–90% технической базы, то четвертая промышленная революция «киберфизических систем» характеризуется частичной модернизацией – 40–50% технической базы.

Помимо этого, ВЭФ выделяет еще несколько важных моментов, которые характеризуют предприятия-«маяки»:

– **Развитие человеческого капитала**. По оценке McKinsey&Company, автоматизации подлежит менее 5% профессий, при этом 62% содержат 30% автоматизируемых задач.

– **Компании-«маяки» формируют стандарты / придерживаются принципов открытых инноваций и открытого сотрудничества.** Исследуемые компании осуществляют активное внедрение инноваций и аккумулируют сценарии использования технологий, которые находятся на поздних стадиях внедрения. Помимо этого, успех «маяков» базируется на активном сотрудничестве в рамках инновационной экосистемы – в том числе взаимодействия с высшими учебными заведениями, стартапами и вендорами.

– **Усиление конкурентных преимуществ за счет внедрения инноваций в производственную систему,** в том числе оптимизации издержек на операционную деятельность.

– **Распространение инноваций по всей цепочке добавленной стоимости** – поэтапное преобразование и цифровизация производственных цепочек компании, их оптимизация, сокращение производственных циклов [66].

Собственную классификацию стадий развития промышленных предприятий на пути цифровой трансформации выработали аналитики Организации Объединенных Наций по промышленному развитию (далее – ЮНИДО).

С позиции ЮНИДО технологии ADP (Advanced Digital Production – передовое цифровое производство) являются ключевыми для процессов четвертой промышленной революции [67]. Технологии APD основаны на постепенной интеграции различных областей технологий – нано- и биотехнологий, разработке новых материалов, технологий цифрового производства. Использование этих технологий приводит к созданию «умных» производственных систем, «умных» заводов и формированию Промышленности 4.0. Большинство из этих технологий возникли скорее в ходе эволюции, чем в ходе революционных прорывов.

К четвертой промышленной революции ЮНИДО относит следующие блоки технологий:

- Выработка энергии и электрической энергии из возобновляемых источников.
- Использование программных платформ.
- Развитие промышленного Интернета вещей.
- Аналитика больших данных.
- Технологии искусственного интеллекта и машинного обучения.
- Развитие датчиков.
- Распространение промышленных, а также коллаборативных роботов.
- Аддитивное производство.
- «Умное» производство [68].

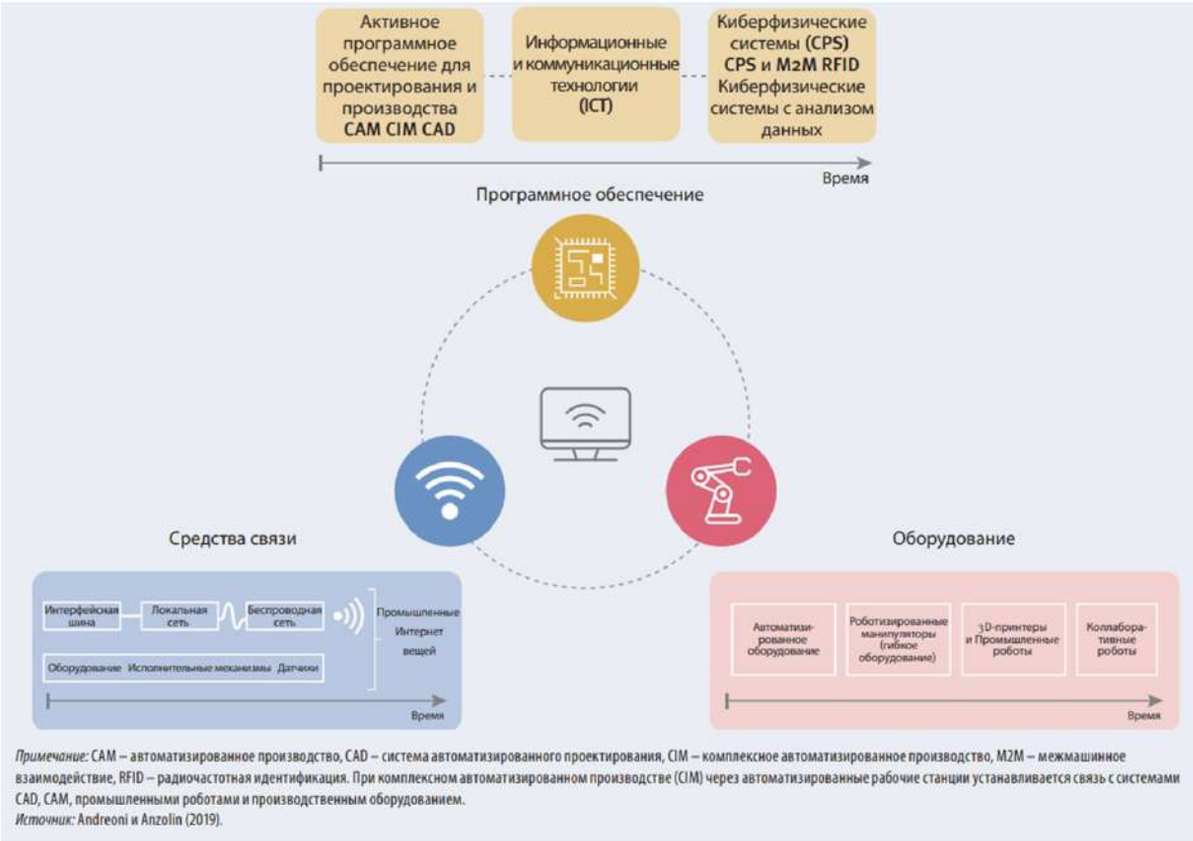
Согласно предложенной классификации ADP, технологии можно объединить в три группы, первая из которых характерна и для третьей промышленной революции:

Оборудование – инструменты, средства, вспомогательные системы, включающие умные производственные системы, промышленных роботов и 3D-оборудование для аддитивного производства.

Средства связи – ключевое отличие технологий четвертой промышленной революции от предыдущего этапа технологического развития. Связь компонентов обеспечивается за счет установки исполнительных устройств и датчиков, а также за счет сбора, передачи и хранения данных через платформы промышленного Интернета вещей.

Программные средства – «умные» «сетевые» системы, основанные на системах автоматизированного проектирования (Computer-Aided Design, CAD), моделирования (Computer-Aided Engineering, CAE), производства (Computer-Aided Manufacturing, CAM) и др. Эти программные средства формируют возможности развития киберфизических систем [68].

Рисунок 23. Типология блоков технологий, формирующих четвертую промышленную революцию



Примечание: CAM – автоматизированное производство, CAD – система автоматизированного проектирования, CIM – комплексное автоматизированное производство, M2M – межмашинное взаимодействие, RFID – радиочастотная идентификация. При комплексном автоматизированном производстве (CIM) через автоматизированные рабочие станции устанавливается связь с системами CAD, CAM, промышленными роботами и производственным оборудованием.
Источник: Andreoni и Anzolin (2019).

Источник: «Отчет о промышленном развитии – 2020», ЮНИДО, 2020 [68]

Согласно оценке экспертов ЮНИДО, которые в этой оценке солидарны с аналитиками ВЭФ, в абсолютном большинстве стран сосуществуют разные «поколения» технологий цифрового производства. Это связано с тем, что четвертая промышленная революция затрагивает лишь небольшую часть экономик стран мира. Помимо этого, зачастую развивающиеся страны комбинируют технологии четвертой промышленной революции и неполных систем, относящихся к предыдущим технологическим укладам, в том числе продолжают масштабировать технологии третьей промышленной революции, например, автоматизировать отдельные производственные процессы и линии [68].

В рамках типологии выделено 5 уровней:

– аналоговое производство – цифровые технологии не используются;

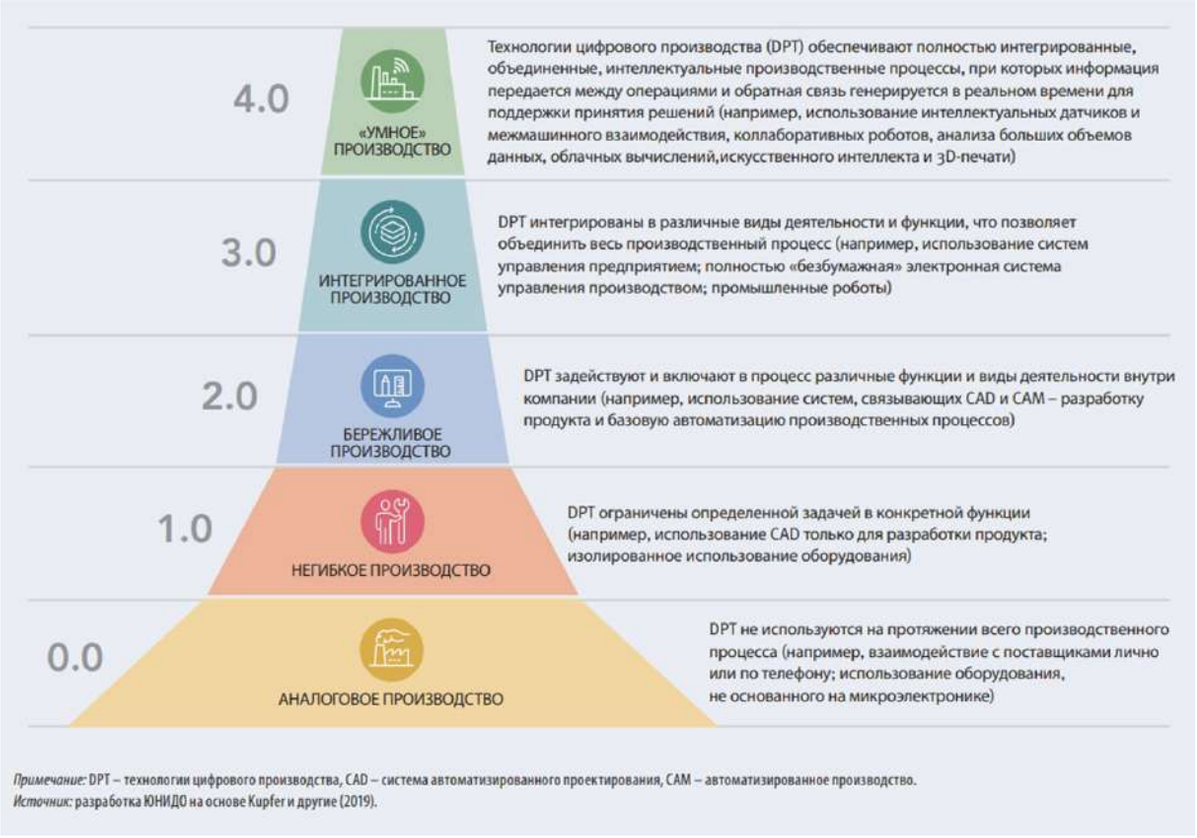
– негибкое производство – разрывы в использовании цифровых технологий, их использование для конкретных задач;

– бережливое производство – частичная интеграция различных сфер деятельности за счет использования цифровых технологий, полугибкая автоматизация производства;

– интегрированное производство – использование цифровых технологий во всех процессах предприятия;

– «умное» производство – полномасштабное использование цифровых технологий с возможностью получать обратную связь для поддержки при принятии решений [68].

Рисунок 24. Типы производств, которые сосуществуют в современном мире, согласно типологии ЮНИДО



Источник: «Отчет о промышленном развитии – 2020», ЮНИДО, 2020 [68]

До 70% компаний находятся на уровне аналогового производства, что характерно для стран с низким уровнем дохода. Негибкое и бережливое производства существуют со времен внедрения систем с числовым программным управлением (конец 1950-х годов). Следует учитывать, что необходимо различать CAD- и CAM-процессы, используемые в рамках этих уровней производств и на уровнях «умное» производство» и «интегрированное производство», что связано с их активным развитием благодаря технологиям параметрического моделирования.

При трансфере от негибкого производства к бережливому есть значительный рост эффективности и качества при отсутствии необходимости в значимых организационных изменениях. При этом переход от бережливого производства к интегрированному уже требует полной интеграции организационных функций предприятия, комплексной стандартизации процессов и информационных систем. Финальный этап – «умное» производство – предполагает использование решений на основе технологий цифрового производства: программное обеспечение, устройства связи, большие данные, промышленный Интернет вещей, роботизация, машинное обучение и др. [68]

В докладе ЮНИДО выделяются несколько важных аспектов цифровой трансформации производств:

1) Неравномерная трансформация производств и отраслей, в том числе, связанная со скоростью внедрения инноваций. Неравномерность связана как с наукоемкостью новых отраслей, так и с негибкостью и более высокой стоимостью технологической трансформации развитых отраслей промышленного производства.

2) Высокая готовность к инновациям крупных предприятий, например, в некоторых развивающихся странах уровень внедрения новых производственных технологий на крупных предприятиях почти на 20% выше среднего.

3) Выделено несколько типов проблем развития передовых производственных технологий в развитых странах:

   a. Наличие базового потенциала производства – развитые или активно развивающиеся производственные отрасли, что формирует конкурентное поле и спрос на новые технологии.

   b. Модернизация существующих производств – технологическое развитие существующих производств обычно является результатом предыдущих волн инвестиций в развитие, необходима интеграция новых технологий и уже использующихся технологий.

   c. Цифровая инфраструктура – внедрение передовых производственных технологий требует наличия развитой информационной инфраструктуры на производстве, в том числе базовой, такой как электроэнергия, связь и др.

   d. Разорванность цифровых потенциалов в рамках цепочек поставок в различных отраслях. Так, наличие у поставщиков технологий предыдущего этапа технологической революции зачастую приводит к тому, что более совершенное с точки зрения технологической эволюции предприятие также вынуждено использовать технологии предыдущих технологических укладов.

   e. Ограниченность доступа к технологиям: для развитых стран характерна зависимость от импорта технологий, рынок новых производственных технологий контролируется ограниченным числом стран и компаний. Также высока зависимость от поставщиков программного обеспечения и оборудования [68].

Ключевые тренды цифровой промышленности. Центр НТИ СПбПУ

1) Самая серьезная трансформация произошла в области цифровых технологий. Здесь произошел переход от перевода процессов в цифровую форму для их оптимизации («оцифровки») к изменению продуктов, бизнес-моделей и производственных архитектур («цифровизации» или цифровой трансформации в современном понимании) [69, 70].

Трансформация включает цифровые платформы, цифровые двойники, промышленный Интернет вещей как инструмент сбора данных и автоматизации управления, цифровые сервисы на базе больших данных и предиктивной аналитики, новые бизнес-модели – возможность держать половину бизнеса в цифровых двойниках (цифровые двойники могут быть материализованы в реальные продукты мирового уровня в кратчайшие сроки, если того потребует рыночная ситуация, например, за несколько недель или несколько месяцев, в зависимости от сложности изделия / продукта) [71, 72], продажа цифровых сервисов по модели «подписка», значительная часть интеллектуальной собственности патентуется так, чтобы ввести в заблуждение конкурентов или не патентуется вовсе, уходя в интеллектуальные ноу-хау и т. д.

Конкуренция за рынки с повышенным потенциалом создания стоимости в долгосрочной перспективе стимулирует ведущие мировые компании инвестировать в ключевые технологии цифровизации процессов.

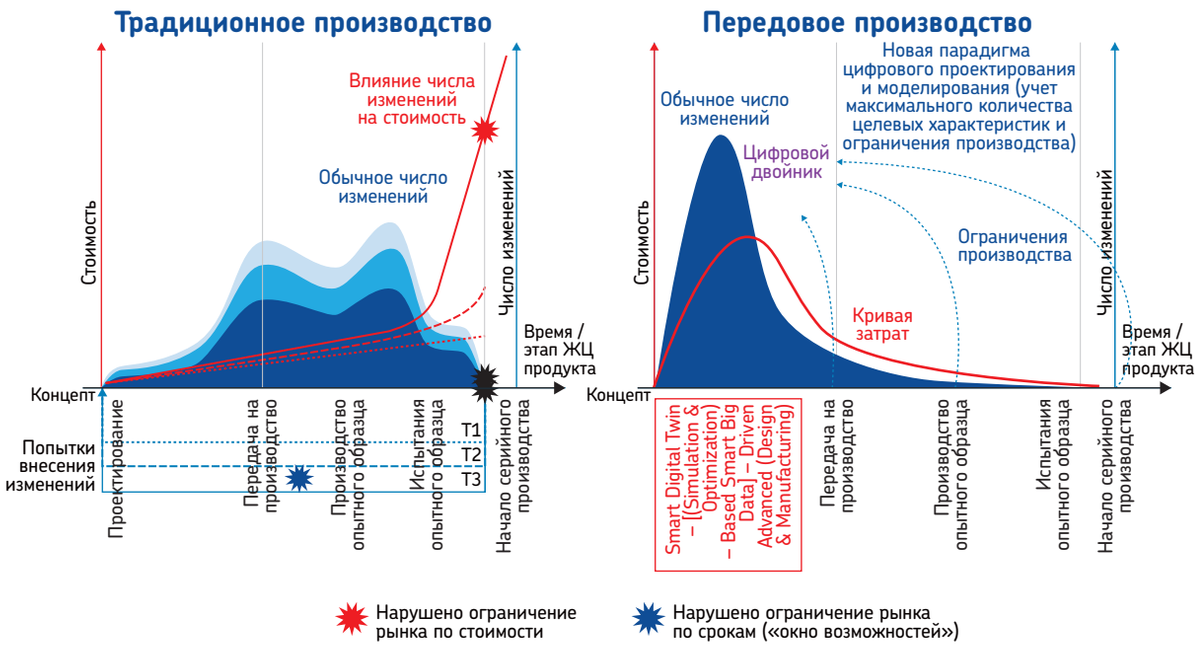
Например, для России особое значение могут приобрести технологии цифровых двойников[4]: при должном уровне компетенций они позволяют за достаточно короткие сроки (от несколь-

4 Подробнее о «цифровых двойниках»: [73–77].

ких месяцев до 1,5–2 лет) осуществить «двойной скачок» (Double Leapfrogging) – сначала с текущего российского уровня разработок (как правило, не очень высокого, если судить по представительству на глобальных высокотехнологичных рынках) до мирового уровня, а затем и опередить мировых лидеров, задав высокие темпы развития по сравнению с конкурентами путём комплексирования и оптимизации best-in-class наукоемких и мультидисциплинарных передовых технологий [78].

В современной высокотехнологичной промышленности произошли значительные структурные изменения – смещение «центра тяжести» в глобальной конкуренции на этап проектирования. Традиционные подходы и технологии, предполагающие и основанные, как правило, на доводке изделий путём дорогостоящих испытаний, достигли своего «потолка» в развитии и применении и фактически становятся неконкурентоспособными [14].

Рисунок 25. Сравнение традиционного и передового производства



Источник: Центр НТИ СПбПУ, 2017 [14]

Однако, за счет применения новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования, в основе которой лежит разработка цифровых двойников, стало возможным уйти от традиционной ситуации, когда число изменений изделия (в силу допущенных ошибок или полученных новых, ранее не учтенных сведений) и, соответственно, возрастающие затраты на их внесение, распределяются на протяжении всего жизненного цикла разработки – от стадии проектирования до начала серийного производства (известно, что чем позже вносятся изменения, тем большие издержки несет компания).

В итоге становится принципиально возможным сосредоточить основную долю изменений и затрат на стадии проектирования, тем самым значительно минимизировать общий объем затрат, сократить издержки и обеспечить создание наукоемких высокотехнологичных изделий нового поколения в кратчайшие сроки [14]. Значимость этого тренда показывает и быстрый рост глобального рынка программного обеспечения для моделирования и анализа (Simulation and Analysis), по оценке Technavio, в период 2018–2022 годов – $ 4,79 млрд в 2018 году, $ 7,77 млрд в 2022 году. Темпы среднегодового роста рынка составят 12–13% [79].

Это означает, что в конкурентной борьбе на глобальных рынках побеждает тот, кто быстрее генерирует (разрабатывает) множества (семейства) цифровых двойников [78] – «опережающая разработка цифровых двойников», и, по мере рыночной необходимости, выводит их на глобальные высокотехнологичные рынки, обеспечивая устойчивое развитие и технологическое превосходство.

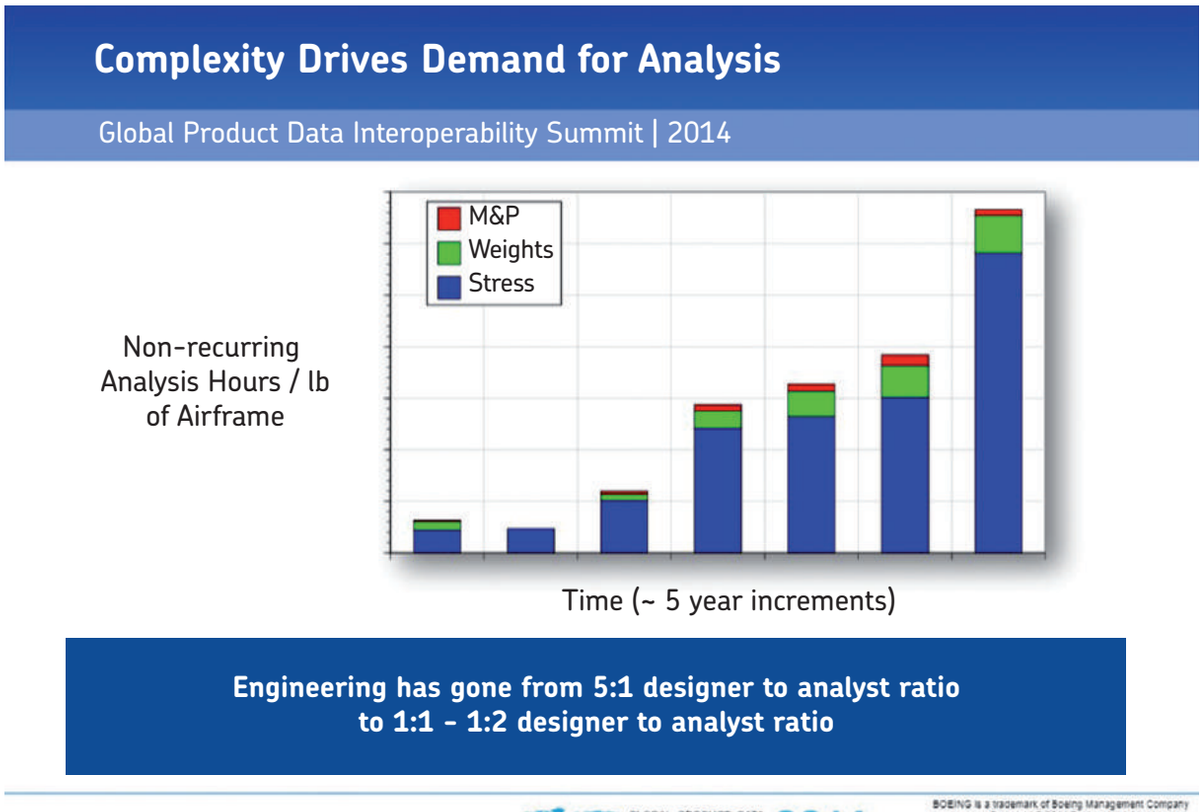
2) Вторым большим сдвигом в области передовых производственных технологий стал переход к платформенной организации отраслей и рынков и соответствующие изменения требований к организации всех производственных процессов, начиная с инжиниринга и заканчивая постпродажным обслуживанием высокотехнологичной продукции. С одной стороны, платформенный подход способен существенно переконфигурировать рынки промышленного производства, став, в том числе, одним из поддерживающих факторов для реализации концепции «распределенного производства» (на базе сверхэффективной логистики и углубления специализации предприятий, входящих в технологические цепочки и цепочки создания добавленной стоимости). С другой стороны, платформенный переход предполагает сверхконцентрацию рынков и сосредоточение «платформенной маржи» в руках узкого круга компаний – держателей платформ. Несмотря на то, что в большинстве промышленных индустрий «лидеры платформизации» еще не определены – на лидерство претендуют OEM (Original Equipment Manufacturer – оригинальный производитель оборудования), поставщики узлов и систем, эксплуатирующие организации, ИТ-компании и пр., – платформизация признается всеми участниками рынков ключевым трендом практически во всех отраслях и индустриях.

3) Тематики компьютерного инжиниринга и промышленного дизайна трансформировались в обсуждение «клиенто-ориентированного подхода в проектировании». При сохранении всех предыдущих инструментов и подходов (CAD / CAE, проектирование, драйвером которого выступает математическое моделирование и технологии оптимизации и пр.), произошло организационное изменение процесса разработки и тестирования продукта: внедрение подхода «минимально жизнеспособного продукта», проектирование в интегрированных клиентско-разработческих группах с использованием подходов «дизайн-мышления», изменение соотношения между конструкторами и инженерами-расчетчиками в пользу вторых внутри команд, выполняющих проекты, и т.д.

Например, тенденция изменения соотношения между конструкторами и инженерами-расчетчиками была отмечена еще в 2014 году представителем компании Boeing в докладе на конференции Global Product Data Interoperability Summit. В ходе доклада был представлен график, на котором с шагом в 5 лет по оси абсцисс было представлено увеличение доли прочностных расчётов (Stress Analysis) по сравнению с расчётами, обеспечивающими минимизацию веса (Weight) и, тем более, с расчётами производственных технологий / процессов (M&P). По оси ординат были отложены временные затраты на расчёты в часах, отнесённые к фунту массы авиационной конструкции. На слайде также было показано, что соотношение между инженерами-конструкторами и инженерами-расчетчиками изменилось от 5:1 к 1:2 [78, 80].

Отметим, что такое соотношение полностью подтверждает многолетний опыт работ Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ в интересах лидеров мирового автомобилестроения, где соотношение между инженерами-конструкторами (в традиционном понимании термина) и инженерами-расчетчиками последовательно изменялось от 1:2 до 1:5 … 1:10, правда, необходимо отметить, что речь уже идёт о совсем других инженерах – о «системных инженерах», обладающих компетенциями мирового уровня во всем спектре мультидисциплинарных CAx-технологий (Computer-Aided, например, CAD, CAE, включая CFD, CAO, CAM / CAAM, PDM, PLM, HPC-CAE и многих других).

Рисунок 26. Сложность конструкций порождает спрос на инженерные расчеты



Источник: «Управление данными процесса моделирования», Boeing, 2014 [80]

4) Если рассматривать продукт промышленного производства, можно установить, что фокус внимания сместился с управления качеством и управления жизненным циклом на глубокую кастомизацию (серия начинается от единицы продукции) и, соответственно, на управление жизненным циклом кастомизированного продукта на базе индивидуального цифрового двойника промышленного изделия.

5) Глубокая кастомизация как подход привела к смене «инструментальной» производственной повестки на бизнес-повестку. В данном контексте модульная сборка, новые материалы и «умные» фабрики (понимаемые как автоматизированные и роботизированные с быстрой переналадкой) обсуждаются не в технологическом контексте, а в контексте оптимизации производственного процесса и/или модернизации его для производства глубоко кастомизированного продукта. Речь идет не о точечной оптимизации производственных мощностей, а о перестройке производственных систем в соответствии с требованиями клиента и продукта (глубокая кастомизация, гибкость и пр.).

6) Изменилась исследовательская повестка, связанная с передовыми производственными технологиями. Несмотря на ряд технологических и научно-исследовательских вопросов, решение которых необходимо для дальнейшего развития аддитивных технологий (например, кардинальное снижение стоимости расходных материалов для 3D-печати, в особенности металлических порошков; решение вопросов энергопотребления, оптимизации технологий 3D-печати и пр.) и промышленной робототехники, ключевой составляющей производственных систем становится управление производством на основе данных на базе цифровых двойников оборудования и производственных процессов.

Таким образом, базовый исследовательский приоритет в области ППТ – математическое моделирование, искусственный интеллект и технологии работы с большими данными.

Главным вызовом здесь является извлечение из больших данных тех связей и зависимостей, которые способны описать поведение реального объекта / продукта.

Для того чтобы существенно уменьшить объем и повысить содержательность больших данных (фактически перейти от Big Data к Smart Big Data), необходимо использовать цифровые двойники, понимаемые как семейства сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, реальным объектам / конструкциям / машинам / приборам ... / техническим и киберфизическим системам, реальным физико-механическим процессам (включая технологические и производственные процессы), описываемых 3D нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных. Высокий уровень адекватности математических моделей означает, что цифровой двойник должен обеспечивать отличие между результатами виртуальных испытаний и физических / натурных испытаний в пределах ± 5% для сотен датчиков.

В таком случае цифровой двойник способен указать критические характеристики, которые необходимо измерять, и критические зоны, в которых имеет смысл размещать датчики. Более того, цифровой двойник позволяет не только адекватно описывать поведение реального объекта / продукта на всех режимах работы (включая нормальные условия работы, нарушения нормальных условий работы, аварийные ситуации и пр.), но и с высокой степенью адекватности моделировать различные возможные и непредвиденные ситуации, включая их всевозможные комбинации / наложения – фактически, это означает, что «цифровой двойник обладает предсказательным потенциалом».

Таким образом, несмотря на появление нового технологического фронтира (цифровые технологии), центральным вопросом повестки, связанной с передовыми производственными технологиями, по состоянию на 2020 год является внедрение этих технологий в производственную практику и экономика этого процесса (стоимость приобретения и владения, эффекты, связанные с цифровой трансформацией бизнес-моделей) [78].

2.2. Подходы к определению передовых производственных технологий в мире

Тематика передовых производственных технологий продолжает оставаться актуальной на протяжении многих лет. Появление концепции связано с разворачиванием государственных, частно-государственных и частных программ по поддержке ППТ, а также развития оценки уровня развития технологий.

США

Понятие передовых производственных технологий

Понятие ППТ (Advanced Manufacturing Technologies, AMT) появилось в США в конце 1980-х – начале 1990-х годов. Так, методика оценки заявок на поддержку создания производственных технологических центров, опубликованная Национальным исследовательским советом США (National Research Council, NRC) в 1992 году, содержит следующее определение: «передовые производственные технологии относятся к новым технологиям, созданным недавно или же находящимся в процессе создания, которые могут быть использованы в продукте или на этапах проектирования и разработки, производства, сборки, контроля качества или в процессе повышения эффективности производства» [81].

Согласно определению Национального института стандартов и технологий США (National Institute of Standards and Technology, NIST) (2010 год), передовое производство – это «предприятие (entity), которое широко использует компьютерные, высокоточные и информационные технологии, интегрированные с высокопроизводительной рабочей силой в производственную систему, которая создает разнообразные продукты в небольших или больших объемах как с позиции эффективности массового производства, так и развития гибкого производства, в том числе изготовления продукции по запросу клиентов» [82, 83]. Согласно пояснению NIST, многие эксперты считают нецелесообразным проводить четкую границу между традиционным производством и передовым, так как технологические инновации применяются как в традиционных, так и в растущих отраслях экономики. Отмечается, что неправильно считать ППТ ограниченным набором технологий, так как большинство технологических усовершенствований ведут к сокращению издержек и росту производительности.

Также аналитики NIST отмечают, что один из подходов рассматривает передовые производственные технологии как результат постоянного трансфера результатов науки и исследований и разработок в реальный производственный процесс, однако, учитывая возможность быстрого копирования новых решений, необходимо сфокусироваться на ускорении трансфера результатов разработок в реальное производство [83].

Вторая волна поддержки пришлась на 2010-е годы. В 2011 году вышел «Доклад Президенту США об обеспечении лидерства Америки в передовом производстве» [84]. Согласно докладу, передовое производство – это совокупность видов деятельности, которые

1. зависят от использования и согласования информации, автоматизации, вычислений, программного обеспечения, телеметрии, компьютерных сетей

и/или

2. используют новейшие материалы и возникающие инструменты, благодаря развитию физических и биологических наук (например, нанотехнологий, химии и биологии).

Передовое производство включает как новые способы производства уже существующих продуктов, так и производство новых продуктов с использованием передовых технологий.

Три группы передовых производственных технологий являются объектами скоординированных действий со стороны государства, промышленных компаний и университетов:

1. Передовые датчики, управление и производственные информационные платформы (Advanced Sensing, Controls and Platforms for Manufacturing).

2. Визуализация, информатика и цифровое производство (Visualization, Information and Digital Manufacturing).

3. Производство передовых материалов (Advanced Materials Manufacturing) [84].

В 2018 году в рамках Стратегии американского лидерства в передовом производстве Национальный исследовательский совет США перешел к определению передовых производственных технологий через конкретные технологические сегменты. Непосредственно к указанным технологиям относится первый блок мероприятий [85].

Таблица 5. Блоки мероприятий по передовым производственным технологиям, США (2018 год)

Цель	Задачи	Блоки мероприятий
Развитие и последующий переход на новые производственные технологии	Развитие интеллектуальных производственных систем	«Умное» и цифровое производство
		Передовая промышленная робототехника
		Инфраструктура искусственного интеллекта
		Кибербезопасность на производстве
	Развитие процессинговых технологий и материалов мирового уровня	Материалы с высокими эксплуатационными характеристиками
		Аддитивное производство
		Критические материалы (наиболее дефицитные и важные для развития экономики)
	Обеспечение доступа к медицинским изделиям за счет импортозамещения	Низкозатратное, сетевое производство
		Технология непрерывного производства
		Производство тканей и органов
	Обеспечение лидерства в проектировании и производстве электроники	Проектирование и производство полупроводников
		Новые материалы, устройства и инфраструктура
	Развитие потенциала агропромышленного комплекса (АПК) и пищевой промышленности	Внедрение технологий «умного» производства в пищевой промышленности и АПК
		Обеспечение продовольственной безопасности (формирование цепочек производства и поставок)
		Снижение цены и увеличение функциональности продуктов АПК

Источник: Центр НТИ на основе Strategy for American Leadership in Advanced Manufacturing [85]

В результате к передовым производственным технологиям отнесены «умные» производства, робототехника, искусственный интеллект, кибербезопасность, новые материалы и аддитивное производство, помимо этого, важными отраслями, зависящими от развития производственных технологий, признаны медицина, электроника, пищевая промышленность и АПК.

Канада

Понятие ППТ

В 1993 году Статистическая служба Канады провела опрос с целью анализа уровня использования передовых производственных технологий (Survey of Innovation and Advanced Tech nology (SIAT). В результате были опрошены почти 2500 предприятий, относящихся к производственному сектору экономики. В ходе опроса было установлено, что наиболее передовые предприятия расположены ближе друг к другу, чем традиционные предприятия, внедряют сходные технологии, при этом работать могут на разных рынках. Предприятие с наибольшей вероятностью внедрит новую технологию, если в том же регионе есть другое предприятие, которое уже осуществило внедрение этой технологии [86].

В ходе опроса был разработан перечень передовых производственных технологий, внедрение которых оценивалось на промышленных предприятиях. Было выделено 6 блоков технологий.

Таблица 6. Блоки передовых производственных технологий и доля предприятий, которые вели их внедрение в 1984 и 1993 годах, Канада

Передовые производственные технологии	1993 год (% предприятий, внедряющих технологию)	1984 год (% предприятий, внедряющих технологию)
Проектирование и инжиниринг		
CAD- и CAE-технологии	27,1%	1,3%
CAD используется при управлении средствами производства (CAD / CAM)	12,9%	0,6%
Цифровое представление результатов CAD-моделирования для закупочной деятельности	6%	0,2%
Производство и сборка		
Гибкие производственные ячейки или системы (FMC / FMS)	6,8%	0,2%
Станки с ЧПУ	15%	2,8%
Лазерная обработка материалов	2,4%	0%
Роботы для производства печатных плат	3,5%	0,3%
Другие роботы	3%	0%
Автоматическая обработка материалов		
Автоматизированная система хранения и поиска (AS / RS) 3.0 0.2	3%	0,2%
Автоматизированные системы управления автомобилем (AGVS)	1,1%	0%
Мониторинг и связность		
Автоматизированное сенсорное оборудование, используемое для проверки / тестирования поступающих или обрабатываемых материалов	6,1%	1%
Автоматизированное сенсорное оборудование, используемое для проверки / тестирования конечного продукта	6,8%	1,4%
Локальная сеть для технических данных	10,5%	0,4%
Локальная сеть для производства	8,1%	1%
Сеть для связи производства, субподрядчиков, поставщиков и клиентов	7,5%	0,1%
Программируемые контроллеры	17,1%	1,9%
Использование компьютеров для мониторинга процессов в цеху	15,6%	1,5%

Передовые производственные технологии	1993 год (% предприятий, внедряющих технологию)	1984 год (% предприятий, внедряющих технологию)
Информационные системы на производстве		
Планирование потребности в материалах (MRP)	15,7%	1,3%
Планирование ресурсов производства (MRP II)	8,5%	0,2%
Интеграция и контроль		
Компьютерно-интегрированное производство (CIM)	6,1%	0,5%
SCADA-системы	7,5%	1%
Искусственный интеллект и/или экспертные системы		

Источник: «Города и рост: распространение знаний при внедрении передовых производственных технологий», Служба статистики Канады, 2008 [86]

Служба статистики Канады проводит опросы промышленности на регулярной основе, в 2014 году состав передовых производственных технологий дополнился новыми пунктами.

Таблица 7. Сравнение блоков передовых производственных технологий, интегрированных в опросники Службы статистики Канады в 1993 и 2014 годах

№	Передовые производственные технологии (опросник 1993 года)	№	Передовые производственные технологии (опросник 2014 года)
1	**Проектирование и инжиниринг**	**1**	**Передовое проектирование и информационные технологии управления**
1.1.	CAD- и CAE-технологии	1.1.	Программное обеспечение для разработки или моделирования виртуальных продуктов, включая компьютерное проектирование (CAD), компьютерный инжиниринг (CAE), компьютерное производство (CAM)
1.2.	CAD используется при управлении средствами производства (CAD / CAM)	1.2.	Виртуальное производство
1.3.	Цифровое представление результатов CAD-моделирования для закупочной деятельности	-	-
2	**Информационные системы на производстве**	-	-
2.1.	Планирование потребности в материалах (MRP)	1.3.	Планирование ресурсов предприятия (ERP)
2.2.	Планирование ресурсов производства (MRP II)	1.4.	Система управления производством (MES)
-	-	1.5.	Программная интеграция качества результатов с программным обеспечением для планирования и контроля

№	Передовые производственные технологии (опросник 1993 года)	№	Передовые производственные технологии (опросник 2014 года)
-	-	1.6.	Планирование производственных ресурсов (MRP II)
3	**Мониторинг и связь**	-	-
3.1.	Автоматизированное сенсорное оборудование, используемое для проверки / тестирования поступающих или обрабатываемых материалов	1.7.	Межфирменные компьютерные сети, включая Extranet и электронный обмен данными (EDI)
3.2.	Автоматизированное сенсорное оборудование, используемое для проверки / тестирования конечного продукта	1.8.	Беспроводная связь для производства
3.3.	Локальная сеть для технических данных	1.9.	Сенсорные сети и интеграция
3.4	Локальная сеть для производства	-	-
3.5.	Сеть для связи производства, субподрядчиков, поставщиков и клиентов	-	-
3.6.	Программируемые контроллеры	-	-
3.7.	Использование компьютеров для мониторинга процессов в цеху	-	-
4	**Интеграция и контроль**	-	-
4.1.	Компьютерно-интегрированное производство (CIM)	1.10.	Компьютерно-интегрированное производство (CIM)
4.2.	SCADA-системы	1.11.	Автоматизированные системы для мониторинга (например, на основе зрения, на основе лазера, рентгеновской камеры, камеры высокого разрешения (HD) или на основе датчика)
4.3.	Искусственный интеллект и/или экспертные системы	1.12.	Беспилотные воздушные системы (дроны)
5	**Производство и сборка**	**2**	**Технологии передовой сборки и производства**
5.1.	Гибкие производственные ячейки или системы (FMC / FMS)	2.1.	Гибкие производственные ячейки или системы (FMC / FMS)
5.2.	Станки с ЧПУ	2.2.	4–9 осевые станки с ЧПУ
5.3.	Лазерная обработка материалов	2.3.	Лазерная обработка материалов (включая модификацию поверхности)
5.4.	Роботы для производства печатных плат	2.4.	Роботы с сенсорными системами и зрением
5.5.	Другие роботы	2.5.	Роботы без сенсорных систем и зрения
-	-	2.6.	Аддитивное производство, включая быстрое прототипирование и 3D-печать пластмасс

№	Передовые производственные технологии (опросник 1993 года)	№	Передовые производственные технологии (опросник 2014 года)
-	-	2.7.	Аддитивное производство, включая быстрое прототипирование и 3D-печать металлов
-	-	2.8.	Аддитивное производство, включая быстрое прототипирование и 3D-печать других материалов
-	-	2.9.	Автоматизированная техника для сортировки, транспортировки или сборки деталей
-	-	2.10.	Плазменное напыление
-	-	2.11.	Микропроизводство
-	-	2.12.	Микроэлектромеханические системы (МЭМС)
6	**Автоматическая погрузка и разгрузка**	**3**	**Передовая погрузка и разгрузка, технологии цепочки поставок и логистики**
6.1.	Автоматизированная система хранения и поиска (AS / RS) 3.0 0.2	3.1.	Автоматизированная система хранения и поиска (AS / RS) 3.0 0.2
6.2.	Автоматизированные системы управления автомобилем (AGVS)	3.2.	Управление взаимодействием с клиентами (CRM)
-	-	3.3.	Программное обеспечение для прогнозирования и планирования спроса
-	-	3.4.	Система управления перевозками
-	-	3.5.	Системы управления перевозками (TMS)
-	-	3.6.	Системы управления сотрудничеством и «прозрачности» цепочки поставок
-	-	3.7.	Автоматизированные системы идентификации продукции и компонентов (например, штрих-коды, QR-коды)
-	-	3.8.	RFID-метки (системы автоматической идентификации объектов)
-	-	**4**	**Передовые интеллектуальные бизнес-технологии**
-	-	4.1.	Информационные панели для аналитики или принятия решений
-	-	4.2.	Программное обеспечение для обработки больших объемов данных (например, Hadoop)
-	-	4.3.	Технология обработки в реальном времени или мониторинг в реальном времени
-	-	4.4.	Программное обеспечение как услуга (AaaS) (например, облачные вычисления – программное обеспечение)
-	-	4.5.	Инфраструктура как услуга (IaaS) (например, облачные вычисления – аппаратные средства)

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам Службы статистики Канады, «Города и рост: распространение знаний при внедрении передовых производственных технологий», Служба статистики Канады (2008), «Обзор передовых технологий» (2014) [86, 87]

Опросник 2014 года отличается от опросника 1993 года несколькими существенными блоками [86, 87]:

1) Интеграция CAD-, CAE- и CAM-технологий.

2) Объединение блоков по проектированию, информационным системам на производстве, мониторингу и связи, интеграции и контролю.

3) Расширение блока технологий по управлению складами, транспортировке, управлению цепочками поставок.

4) Расширение «производственного» блока за счет пунктов по аддитивным технологиям и 3D-печати.

5) Появление нового блока по интеллектуальным бизнес-технологиям, в том числе системам обработки данных.

Европейский союз

Понятие передовых производственных технологий

В повестке Европейского союза для обозначения ППТ часто применяется выражение «системы передового производства» (Advanced Manufacturing Systems), которые были определены в качестве шестой и «сквозной» по своему характеру технологии, входящей в группу так называемых ключевых перспективных технологий (Key Enabling Technologies, далее – KETs) [88]. К ключевым перспективным технологиям, которые, в соответствии с документами Европейской комиссии 2009 года [89], рассматриваются в качестве драйверов создания новых продуктов и услуг на рынке к 2020 году, помимо систем передового производства были отнесены нанотехнологии, передовые материалы, микро- и наноэлектроника, фотоника и биотехнологии.

Согласно подходу Группы высокого уровня по ключевым перспективным технологиям (High Level Group on Key Enabling Technologies, создана в июле 2010 года), системы передового производства определяются как: «1) производственные системы и услуги, процессы, заводы и оборудование – робототехника, автоматизация, измерительные системы, когнитивная обработка информации, обработка сигналов и управление производством посредством информационно-коммуникационных технологий; 2) производственные операции, за счет которых создаются высокотехнологичные продукты; 3) использование инновационных инструментов в производстве и изобретение новых процессов и технологий для производства будущего» [88, 90].

В качестве характерных черт систем передового производства, отличающих их от традиционных технологий, участниками Группы высокого уровня по ключевым перспективным технологиям (High Level Group on Key Enabling Technologies), были названы следующие признаки:

– значительное увеличение скорости работы и точности операций, снижение затрат или расхода материалов, улучшение показателей экологической безопасности производственных процессов;

– использование материалов, включающих как традиционные, так и новые элементы и соединения;

– высокий потенциал в области многоотраслевого применения и эффективного решения социальных проблем (таких как энергоэффективность, климатические изменения, дефицит ресурсов);

– интеграция информационных технологий и знаний в производственный процесс; системы передового производства, в отличие от других KETs, включают в себя не одну технологию, а комбинацию различных технологий;

– капиталоемкость, наукоемкость, высокий уровень интеллектуального капитала; системы передового производства основаны на междисциплинарном наследии таких наук, как материаловедение, информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), мехатроника, физика, нанотехнологии и др.;

– высокий уровень числового управления и автоматизации, кастомизации, возможности масштабируемости;

– направленность на разработку специализированных продуктов с заданными свойствами, применение технологий интенсификации процессов с повторным использованием материалов и оборудования, обеспечивающих эффективное использование ресурсов, увеличение гибкости и снижение стоимости производства [88].

Целевая рабочая группа по передовым производственным технологиям для чистого производства (Task Force for Advanced Manufacturing Technologies for Clean Production), образованная Европейской комиссией в 2013 году [91], использует широкое определение передового производства (Advanced Manufacturing), согласно которому оно 1) «охватывает всю производственную деятельность с применением передовых знаний и/или нетехнологических инноваций, ведущую к улучшению существующих продуктов, процессов и бизнес-моделей, а также к производству и распространению новых»; а также 2) «подразумевает производственную деятельность, приводящую к улучшению показателей скорости производства, производительности, энергопотребления и расхода материалов, точности работы и обеспечивающую ресурсоэффективное производство с низким уровнем выбросов» [92]. Согласно подходу Целевой рабочей группы (Task Force for Advanced Manufacturing Technologies for Clean Production), технологии передового производства, с одной стороны, определяются как одно из направлений KETs, с другой стороны, объединяют в себе все производственные решения, которые могут повысить производительность или эффективность использования ресурсов промышленного производства как в традиционных, так и в новых отраслях [91].

В ряде государств Европейского союза были разработаны стратегические документы и программы, посвященные развитию передового производства, в которых также можно обнаружить различные подходы к концепции ППТ. Так, например, в Нидерландах в 2014 году была запущена инициатива «Smart Industry», в соответствии с которой передовое производство рассматривалось в контексте понятия «умная» промышленность». К «умным» отраслям промышленности («smart industries») были отнесены направления, которые «обладают высокой степенью гибкости производства с точки зрения требований к продукции (технических характеристик, качества, дизайна), объема продукции, сроков производства, эффективности использования ресурсов и стоимости, а также обладают возможностями точной настройки в соответствии с потребностями клиентов и использования всей цепочки поставок для создания стоимости, – что достигается благодаря сетевому подходу посредством использования данных, основанных на применении ИКТ, и новейших из доступных апробированных технологий производства» [93]. В немецкой стратегии «Industrie 4.0» (2011) пристальное внимание уделено цифровым аспектам передового производства (например, «Интернет вещей»), в то время как в бельгийской программе «Made Different» (2013), посвященной передовому производству, среди семи ключевых направлений трансформации промышленности существенная роль отводится нетехнологическим преобразованиям рабочего места, объединенным в блок «Человеко-ориентированное производство» («Human Centered Production») [94]. Разница подходов к интерпретации передового производства демонстрирует региональные различия в потребностях промышленного сектора, что обуславливает специализацию в разных

областях технологических преобразований в соответствии с региональными (и отраслевыми) характеристиками.

Обсерватория бизнес-инноваций Европейской комиссии (Business Innovation Observatory) в своем первом отчете об инновационных трендах и тенденциях в Европе («Trend report: Un-locking the potential of business and societal innovation», 2013) [95] определяет передовые производственные технологии (Advanced Manufacturing Technology) как: «производственные системы и связанные с ними услуги, процессы, установки и оборудование, включая автоматизацию, робототехнику, измерительные системы, обработку когнитивной информации, обработку сигналов и управление производством с помощью высокоскоростных информационных и коммуникационных систем». К ключевым трендам передового производства в отчете Обсерватории бизнес-инноваций Европейской комиссии (Business Innovation Observatory) были отнесены экологически безопасные технологии и энергоэффективность (Environmentally friendly Technologies and Energy Efficiency); новые технологии производственного инжиниринга (New Manufacturing Engineering); массовая кастомизация (Mass Customisation); измерительные технологии и робототехника (Measurement Technologies & Robotics); умные цепочки создания стоимости (Smart Value Chains).

Подход Европейской комиссии предполагает выделение трех ключевых групп передовых производственных технологий:

– технологии устойчивого производства (Sustainable Manufacturing Technologies) – технологии, направленные на улучшение показателей эффективности производства в части использования энергии и материалов, а также существенного сокращения выбросов (технологии управления процессами, системы управления жизненным циклом продукции и др.);

– технологии интеллектуального производства с использованием ИКТ (Information and Communications technology-enabled Intelligent Manufacturing) – решения, обеспечивающие интеграцию цифровых технологий в производственные процессы («умные» фабрики);

– высокопроизводительные технологии (High Performance Manufacturing Technologies) – системы, сочетающие гибкость, точность и отсутствие дефектов (высокоточные станки, датчики, 3D-принтеры и др.) [96, 97]

КНР

Понятие передовых производственных технологий

В основу видения ППТ, принятого в Китае, легло понятие «интеллектуального производства» (Intelligent Manufacturing).

В концепции интеллектуального производства выделяют три основные парадигмы, которые также могут отражать стадии технологического развития: 1) цифровое производство, или интеллектуальное производство первого поколения (Digital Manufacturing); 2) «умное» производство, или производство «Интернет плюс», интеллектуальное производство второго поколения (Smart Manufacturing, «Internet Plus» Manufacturing); 3) цифровое сетевое интеллектуальное производство – интеллектуальное производство нового (третьего) поколения (Digital-Networked Intelligent Manufacturing, New-Generation Intelligent Manufacturing) [98].

К основным чертам **цифрового производства (первое поколение интеллектуального производства)** относят следующие тенденции:

– широкое применение цифровых методов для производства продуктов «цифровой эры»;

– применение цифрового оборудования, технологий цифрового проектирования и моделирования в производственных процессах наряду с технологиями управления информацией;

– производственные процессы, характеризующиеся сильной интеграцией и оптимизацией операций [98].

Распространение этих технологических решений приводит к цифровизации процессов проектирования, производства и управления, популяризации цифровых систем управления и производственного оборудования, а также информатизации предприятий.

Для **интеллектуального производства второго поколения – производства «Интернет плюс»** – характерны:

– повсеместное распространение интернет-технологий, приводящее к сотрудничеству и обмену знаниями в области НИОКР, производству сетевых продуктов;

– внутриорганизационная интеграция, позволяющая обеспечить «сквозную» интеграцию производственных процессов, цепочки поставок, цепочки создания стоимости; взаимосвязанность потоков данных и информации производственных систем;

– применение интернет-платформ, которые обеспечивают связи и взаимодействие между пользователями и предприятиями на каждом этапе жизненного цикла продукта / услуги (проектирования, производства, логистики, продаж и обслуживания), а также переход от производственных моделей, ориентированных на продукт, к моделям, ориентированным на пользователя [98].

Наконец, третья стадия – **цифровое сетевое интеллектуальное производство** – подразумевает:

– развитие технологий искусственного интеллекта нового поколения (New-Generation AI Technologies), таких как интеллектуальная обработка больших данных (Big Data Intelligence), перекрестная обработка данных (Cross-Media Intelligence), человеко-машинный гибридный интеллект (Human-Machine Hybrid-Augmented Intelligence) и др., вследствие стремительного распространения Интернета, облачных вычислений, технологий больших данных и Интернета вещей;

– слияние технологий искусственного интеллекта нового поколения и передовых производственных технологий, приводящее к созданию интеллектуального производства нового поколения, появлению новых технологий, продуктов, бизнес-моделей и производственных моделей [98].

Описанные три парадигмы интеллектуального производства подразумевают последовательный переход от одной стадии технологического развития к другой и в то же время предполагают тесное переплетение и взаимосвязанность технологий, которые развиваются посредством итеративных улучшений. В этой связи отмечается, что программы КНР в области распространения ППТ, учитывающие региональные и исторические особенности технологического развития китайской промышленности, отражают специфический подход к развитию передовых технологий, который заключается во взаимосвязанной разработке всех трех парадигм интеллектуального производства [98]. Таким образом, отмечается, что в контексте китайских инициатив понятие ППТ наиболее часто рассматривается через призму широкого определения «умного» производства, которое предполагает сочетание технологий третьей промышленной революции (таких как традиционные промышленные роботы, промышленное программное обеспечение и компьютеризированные станки), а также передовых производственных технологий (таких как беспроводные сенсорные сети, интеллектуальные роботы и интегрированные программные процессы) [99].

Россия

Понятие передовых производственных технологий

В России на уровне федеральных органов власти проблематика передовых производственных технологий стала активно обсуждаться и рассматриваться в качестве приоритетного направления развития промышленности с 2013 года. К настоящему моменту общепринятое определение передовых технологий не сформировано.

Термин используется в практике статистического учета, где под ним понимаются «технологии и технологические процессы (включая необходимое для их реализации оборудование), управляемые с помощью компьютера или основанные на микроэлектронике и используемые при проектировании, производстве или обработке продукции (товаров и услуг). Типичные применения включают автоматизированное конструирование и проектирование, гибкие производственные центры, роботы, автоматически управляемые транспортные средства, системы автоматизированного хранения и поиска, станки с числовым программным управлением (СЧПУ). Все они могут быть соединены системами связи (локальными заводскими сетями) в единую гибкую производственную систему, а в конечном счете в единое автоматизированное предприятие или интегрированную компьютерную производственную систему» [100].

Но данное понятие не в достаточной степени отражает особенности современного этапа развития производственных технологий. Учитывая международный опыт и российские исследования аналитических центров по данной тематике, экспертами Сколковского института науки и технологий (И.Г. Дежина, А.К. Пономарев) было предложено собственное определение передовых производственных технологий (используется несколько взаимозаменяемых терминов – «перспективные производственные технологии» и «новые производственные технологии»): «это комплекс процессов проектирования и изготовления на современном технологическом уровне кастомизированных (индивидуализированных) материальных объектов (товаров) различной сложности, стоимость которых сопоставима со стоимостью товаров массового производства» [101].

В октябре 2014 – январе 2015 года «Сколтех» выпустил публичный аналитический доклад по направлению «Новые производственные технологии» (НПТ), в котором были определены 5 сегментов данных технологий (см. Табл. 8) [102].

Таблица 8. Основные сегменты и примеры технологий, входящих в НПТ (в соответствии с публичным аналитическим докладом по направлению «Новые производственные технологии»)

Сегменты НПТ		**Традиционные техника и технологии (примеры)**		**Новые техника и технологии (примеры)**
Технологии организации и управления		Системно-инженерные подходы, LEAN	→	Интеллектуальное производство, альянсы, облачное производство
ИТ-системы, обеспечивающие поддержку жизненного цикла продукции	Многомерное моделирование сложных изделий	CAD/CAE/CAM, PDM	→	CAx для аддитивных технологий, облачные технологии, M2M
	Интеллектуальные системы управления производством			

Оборудование и технологии для формообразования изделий	станкостроение, оборудование для обработки пластмасс и проч.	→	аддитивное производство, лазерная обработка
Оборудование и технологии для автоматизации производственных процессов	реле, переключатели, сенсоры, силовая электроника	→	промышленная робототехника, сенсорные системы
Передовые материалы, используемые для новых производственных процессов	металлы, пластик	→	композиционные материалы, металлы, керамика и др.

Источник: «Публичный аналитический доклад по направлению "Новые производственные технологии"», Сколтех, 2015 [102]

Позднее, в статье «Перспективные производственные технологии в России: контуры новой политики» [103], были представлены только 4 сегмента новых производственных технологий, сегмент «технологии организации и управления производством»5 был исключен. Вероятнее всего, это связано с результатами, полученными в ходе исследования состояния и направлений развития сегментов НПТ в мире и России, которое представлено в докладе.

По мнению экспертов, у России имеется существенный потенциал развития: в области компьютерных технологий для моделирования и производства изделий, в робототехнической отрасли для обрабатывающих секторов экономики и возможности встраивания в глобальные цепочки за счет уникальных решений для промышленных и сервисных роботов, разработок программных инструментов и создания материалов для аддитивных технологий, разработок технологий получения и обработки металлических порошков и композиционных материалов. В области развития технологий организации и управления производством «место России пока скромное – есть единичные организации, где используются передовые подходы к организации производства» [102].

В продолжение исследования в 2016 году была опубликована статья «Подходы к формированию приоритетов технологического развития России», где авторами была предложена структура технологических приоритетов, поддержка которых может обеспечить разработку конкурентоспособной продукции и выход на международный уровень отечественных компаний. Технологии классифицировались по уровню (либо имеющие глобальный рыночный потенциал, либо пользующиеся спросом, но технологически отсталые направления) и способам развития (собственные или заимствуемые разработки). Среди технологий, конкурентоспособных на глобальных рынках, выделены перспективные производственные, информационные, коммуникационные и биотехнологии. Ко второй группе приоритетных технологий, пользующихся внутренним спросом при технологическом отставании, относятся энергетические и агротехнологии. Авторы отметили, что во всех выделенных направлениях присутствуют исследования в области «новых материалов» [104]. Среди перспективных производственных технологий собственной разработки были выделены следующие:

- перспективные модули систем проектирования на базе направлений оптимизации и анализа данных для развивающихся отраслей машиностроения (при условии прогресса в унификации требований крупнейших российских компаний-потребителей);

- отдельные типы материалов, в первую очередь композиционных и металлических, для перспективных, преимущественно аддитивных технологий производства, для нужд авиакосмической, атомной и оборонной промышленности, с постепенным расширением их номенклатуры в кооперации с драйверами развития других отраслей.

5 Технологии организации и управления производством (ОУП) – это подходы, методы, стандарты, инструменты организации взаимодействия между производственными единицами и управления ими в ходе производственного процесса.

В области ППТ заимствованной разработки были выделены:

- оборудование для аддитивных технологий;
- отдельные модули систем проектирования, особенно дорогостоящие,

либо

- связанные с весьма вероятными ограничениями на поставки в Россию [104].

Исследования экспертной группы Сколковского института науки и технологий отчасти основаны на материалах Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», подготовленных в ходе проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации на долгосрочную перспективу» (руководитель проекта – В.Н. Княгинин). Проект выполнялся в 2011–2012 годы по заказу Министерства промышленности и торговли РФ. В его рамках была опубликована серия дискуссионных докладов («зеленых книг»), в которой предпринята попытка российских экспертов поднять в комплексе вопросы системной трансформации производств, вычленить и описать группы технологий, готовые к массовому внедрению, спрогнозировать образование новых рынков, оценить потребность в технологиях для реструктуризации традиционных секторов, оценить последствия для компаний российской индустрии. В итоге проведенной работы удалось спрогнозировать масштабные долгосрочные изменения в российской промышленности, вызванные развитием передовых производственных технологий: а) массовый переход к современным системам проектирования и управления жизненным циклом; б) введение автоматизированного проектирования функций и свойств материалов; в) развитие интеллектуальных сред нового поколения.

Руководитель проекта, В.Н. Княгинин характеризует передовые производственные технологии как обладающие кроссотраслевой значимостью и влияющие «на текущие процессы внутри секторов экономики, приводя их к революции и перестройке. Такие рывки связаны с появлением целого пакета новых технологий, которые интенсивно проникают в разные отрасли промышленности» [12]. С одной стороны, ППТ представляют собой уже не открытия, не изобретения, не научное знание, а способы решения производственных задач, доведенные, как правило, до промышленного прототипа. С другой стороны, кризис конца 2000-х – начала 2010-х гг. обесценил капиталовложения в старые основные промышленные фонды и позволил отказаться от традиционных (конвенциональных) технологий, создал предпосылки для их замены на новый пакет неконвенциональных технологий, заведомо более производительных, дающих их обладателям бесспорные конкурентные преимущества – передовые производственные технологии [12].

В продолжение исследования данной тематики в 2017 году Фондом «Центр стратегических разработок» под научным руководством председателя правления ЦСР «Северо-Запад» В.Н. Княгинина был подготовлен экспертно-аналитический доклад «Новая технологическая революция: вызовы и возможности для России», в котором проанализированы происходящие в мире технологические и экономические изменения и предпринята попытка сопоставления с российской ситуацией и реализуемой государственной политикой в области научно-технологического инновационного развития [105]. Также в докладе рассматриваются вызовы, связанные с происходящим в мире технологическим переходом, целевое видение и приоритетные направления запуска технологической трансформации в России, обозначаются риски и сценарии действий, предлагаются основные меры и этапы их реализации.

Среди основных характеристик, описывающих новую технологическую революцию, выделяют – «переход к новой модели социально-экономического развития, основанной на передовых производственных технологиях и экспоненциальном росте степени их использования (быстрый рост мощностей и производительности факторов при столь же быстром падении стоимости)» [105].

Эксперты отмечают, что в 2025–2035 годах произойдут технологические прорывы, которые приведут к трансформации традиционных отраслей промышленности, среди которых:

- сенсорная революция (массовый переход к использованию цифровых сенсоров, датчиков, исполнительных механизмов и систем управления);
- управление на базе математических моделей и цифровых данных всеми технологическими объектами и процессами;
- осуществление регистрации юридически значимых действий и расчетов в Интернете на базе распределенных реестров (в том числе с использованием технологии блокчейн);
- распространение мета- и «суперматериалов» с программируемыми и изменяемыми функциональными свойствами;
- переход к чистой, низко- и постуглеродной энергетике, предполагающей формирование нового большого рынка хранения энергии, использование гибких интеллектуальных сетей, а также распределенной генерации;
- распространение нетрадиционных методов обработки материалов (аддитивное производство, атомарно-точное производство и пр.), роботизированных и автоматизированных систем;
- масштабирование применения для целей аналитики и управления технологическими процессами дополненной, виртуальной реальности, искусственного интеллекта;
- подключение технологических объектов и человека к «Интернету всего» / индустриальному Интернету, к нейронным сетям;
- широкое использование природоподобных технологий (бионика, био-инжиниринг, синтетическая биология, биотехнологическое производство и т. д.) [105].

Принимая во внимание глобальные технологические изменения, в рамках доклада эксперты рассматривают два сценария «эволюционного» и «революционного» технологического развития страны, но, учитывая преимущества и возможные риски каждого из них, обозначают предпочтительный сценарий «совмещения действий по глубокой модернизации традиционных отраслей на базе масштабирования «прорывных» технологий с действиями по созданию новых быстрорастущих рынков высокотехнологичной экономики».

Среди обширного перечня мер, которые необходимо предпринять для реализации приоритетных направлений государственной политики в области трансформации традиционных отраслей экономики, выделяют комплекс мер, предполагающий переход государственных компаний на передовые производственные технологии, цифровые и платформенные решения и в целом на стандарты цифровой экономики. Для создания новых секторов и отраслей необходимы меры по формированию консорциумов, способных реализовывать высокорисковые технологические проекты на базе данных технологических направлений. Принятие этих и других мер, а также принципиальных шагов и политических решений, изложенных в докладе, позволит России занять достойное место в создаваемой технологической революцией экономике.

Также исследования развития передовых производственных технологий в России ведутся в Институте статистических исследований и экономики знаний НИУ «Высшая школа экономики» (ИСИЭЗ, Л.М. Гохберг). Эксперты ИСИЭЗ осуществляют мониторинг разработки российскими организациями передовых производственных технологий, позволяющих оптимизировать производственные процессы и существенно повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции. ППТ разделены на 7 групп:

- технологии проектирования и инжиниринга (преимущественно разнообразные методы компьютерного моделирования, использование его результатов для контроля за оборудованием и производственными процессами, а также цифровое представление результатов в логистике);
- технологии автоматизированного производства (отдельные машины и оборудование с цифровым и компьютерным управлением, гибкие производственные элементы, лазеры для обработки материалов, простые и сложные роботы и др.);
- автоматизированная транспортировка материалов и деталей, а также осуществление автоматизированных погрузочно-разгрузочных операций;
- аппаратура автоматизированного наблюдения и/или контроля;
- технологии связи и управления (программируемые логические контроллеры, локальные сети, системы обмена электронной информацией с поставщиками и потребителями, системы высокоскоростной проводной и беспроводной связи и др.);
- производственные информационные системы;
- интегрированные системы управления и контроля [106].

По данным исследования 2018 года, 79,4% всех разрабатываемых в России ППТ приходится на три группы технологий: технологии автоматизированного производства (31,4%), проектирования и инжиниринга (29,3%), связи и управления (18,7%). Их структура остается стабильной на протяжении последних семи лет (2011–2018 годы).

В статистических исследованиях НИУ ВШЭ, публикуемых в ежегодном сборнике «Индикаторы цифровой экономики», новые производственные технологии включены в перечень цифровых технологий и определяются как «технологии цифровизации производственных процессов, обеспечивающие повышение эффективности использования ресурсов, проектирования и изготовления индивидуализированных объектов, стоимость которых сопоставима со стоимостью товаров массового производства» [107]. В рамках раздела о новых производственных технологиях приведены некоторые прогнозные оценки рынков и драйверы развития данного направления. Согласно обзору, объем мирового рынка компьютерного инжиниринга возрастет с $ 1,98 трлн в 2018 г. до $ 2,79 трлн в 2025 г., две трети компаний будут использовать технологии «цифровых двойников» на производстве к 2022 г., а объем мирового рынка «умного» производства в 2023 г. достигнет $ 299 млрд (2017 г. – $ 153,25 млрд). Также прогнозируется, что к 2050 г. на 27% сократится объем используемой энергии при применении аддитивных технологий.

Кроме того, ИСИЭЗ НИУ ВШЭ осуществляет мониторинг актуальных направлений развития технологий в определенной области или на стыке областей (глобальных технологических трендов), в их число все чаще попадают сегменты передовых производственных технологий или смежные тематики. Одним из таких проектов является Долгосрочный прогноз научно-технологического развития Российской Федерации (разрабатывается и периодически актуализируется с 2007 года по заказу Минобрнауки России) [108].

Изначально в Прогнозе были определены наиболее перспективные для России направления развития науки и технологий до 2030 года, но с 2015 года было принято решение расширить горизонт планирования до 2040 года. С 2015 года в перечень перспективных направлений, рассматриваемых в Прогнозе-2040, было включено направление «Передовые производственные технологии» как одно из ключевых направлений развития в рамках Национальной технологической инициативы (НТИ) Российской Федерации. К работе по подготовке доклада

о перспективах развития этого направления был приглашен руководитель рабочей группы «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ, проректор по перспективным проектам СПбПУ А.И. Боровков и команда Института передовых производственных технологий (ИППТ) СПбПУ [109].

Ранее А.И. Боровков представил видение передовых производственных технологий, выступая на заседании президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России 16 сентября 2014 г. [110], где акцентировал внимание на том, что ППТ, как правило, – это сложный комплекс мультидисциплинарных знаний, наукоемких технологий и системы интеллектуальных ноу-хау, полученных с помощью длительных и дорогостоящих научных исследований, эффективного применения концепции открытых инноваций и трансфера передовых наукоемких технологий. Многие из таких технологий аккумулируют наработки нескольких лет, создаются большими коллективами, а потому трудоемкость их создания составляет тысячи и десятки тысяч человеко-лет.

Также в своем выступлении А.И. Боровков изложил перспективные направления развития передовых производственных технологий, выделив два ключевых направления, а именно:

- аддитивные технологии и аддитивное производство – системы создания / выращивания оптимальных материальных объектов, в первую очередь, 3D- принтинг (селективное лазерное спекание / сплавление и т.д.), инфузионные и PIM-технологии, методы обработки поверхности, развитие бионики и применение ячеистых и / или композитных структур с оптимальной микроструктурой и т.д., а также обеспечение аддитивного производства соответствующими «расходными материалами» (например, металлопорошковыми композициями);

- математическое моделирование и суперкомпьютерный инжиниринг сложных изделий, позволяющие оптимизировать различные их характеристики (прочность, вес, долговечность и т.д., а также оптимизировать процессы аддитивного производства) – создавать многофункциональные и «умные» изделия, обеспечивать глобальную конкурентоспособность отечественной продукции [111].

Аргументация по применению именно понятия «передовые производственные технологии» была представлена в предложении к докладу Министра образования и науки Российской Федерации Д.В. Ливанова (2012–2016 гг.) на заседании президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России 16 сентября 2014 г.: передовые производственные технологии – совокупность новых, с высоким потенциалом, уже зарекомендовавших себя, демонстрирующих де-факто стремительное развитие, но имеющих пока по сравнению с традиционными технологиями относительно небольшое распространение, новых материалов, методов и процессов, которые используются для производства глобально конкурентоспособных и востребованных на мировом рынке продуктов или изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.). Использование термина «передовые» также позволяет избежать неконструктивной дискуссии относительно того, в какой степени технологии являются перспективными, а также провести их разграничение с современными технологиями, которые, в отличие от ППТ, уже получили достаточно широкое распространение. Впоследствии это понятие было представлено в Прогнозе-2040.

В рамках работ над Прогнозом-2040 передовые производственные технологии были классифицированы следующим образом:

1) цифровые технологии:

- цифровое проектирование и моделирование – технологии компьютерного проектирования (CAD), инжиниринга (CAE) и оптимизации (CAO), включая проектирование

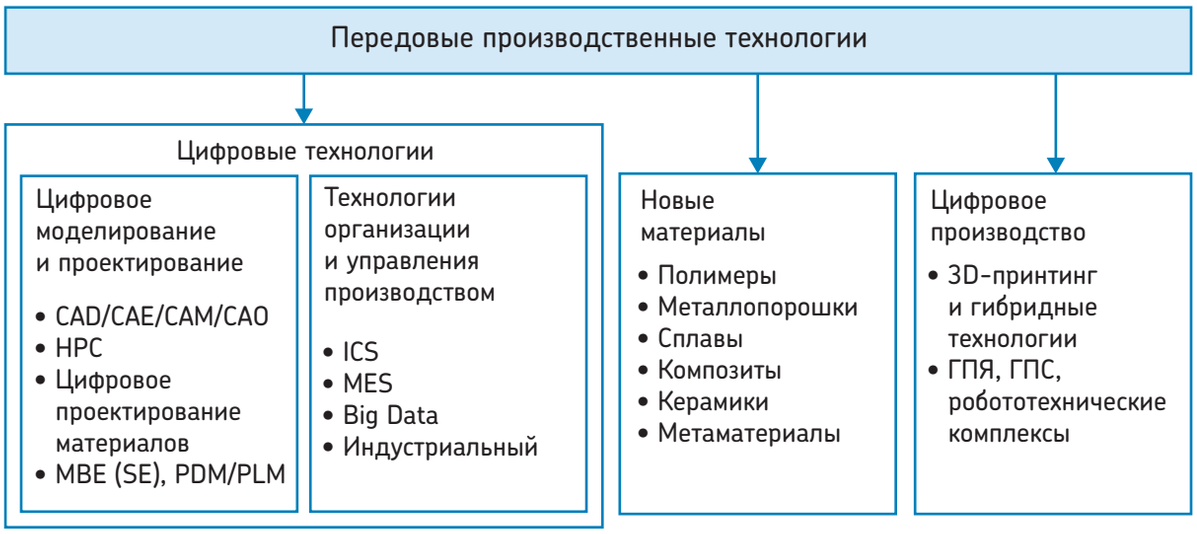
на основе принципов бионического дизайна; суперкомпьютерные технологии (HPC); технологии управления жизненным циклом изделий (PLM); цифровое проектирование материалов; модельно-ориентированная инженерия, системная инженерия (MBE, SE);

- технологии организации и управления производством – автоматизированные системы управления технологическими процессами (ICS), системы оперативного управления производственными процессами на уровне цеха (MES), технологии сбора, хранения, управления и анализа данных (индустриальный Интернет, Big Data);

2) новые материалы: полимеры; металлопорошки и порошковые композиции; сплавы; композиты; керамики; метаматериалы;

3) цифровое производство: аддитивные и гибридные технологии; гибкие производственные системы, гибкие производственные ячейки, робототехнические комплексы.

Рисунок 27. Классификация передовых производственных технологий, предложенная ИППТ СПбПУ в рамках выполнения работ по подготовке долгосрочного прогноза научно-технологического развития РФ до 2040 года (декабрь 2015 г.)



Источник: ИППТ СПбПУ

В рамках работ по Прогнозу-2040 был представлен анализ и перспективы передовых производственных технологий, обзор рынков отдельных технологий, прогноз их развития в мире и России и рекомендации относительно государственной поддержки. Материалы доклада вошли также в другие исследования и публикации, выпускаемые НИУ ВШЭ.

Наряду с представленными выше исследованиями можно выделить обзор, посвященный подробному анализу научно-технологического потенциала организаций – участников цифровой трансформации, в том числе в области новых производственных технологий. В 2019 году по заказу проектного офиса «Цифровая экономика Российской Федерации» ГК «Росатом» на базе проектного офиса «Цифровая экономика» АО «Гринатом» был подготовлен проект «Атлас сквозных технологий цифровой экономики России». Атлас представляет собой «сборник данных, построенных на основных элементах онтологии Программы «Цифровая экономика в Российской Федерации». В рамках анализа основное внимание уделено подбору технологических организаций, обладающих компетенциями в разрезе «сквозных» цифровых технологий (далее – СЦТ) и способных в ближайшей перспективе эффективно работать на конкурентных рынках [111].

В рамках Программы выделено 9 «сквозных» технологий[6], среди которых – новые производственные технологии. В Атласе определения отдельных «сквозных» цифровых технологий не представлены, но их сущность раскрывается через субтехнологии, из которых состоят СЦТ. «Сквозная» технология «Новые производственные технологии» включает следующие субтехнологии:

- управление жизненным циклом продуктов (Product Lifecycle Management, PLM);
- имитационное и суперкомпьютерное моделирование продуктов (HPC Simulation, Modeling And Analysis, CAE);
- аддитивные технологии и быстрое прототипирование (Additive Manufacturing, Rapid Prototyping);
- 4D-печать (4D-printing);
- «умные» производственные линии, промышленная робототехника (Intelligent / Smart Production, Industrial Robotics);
- системы контроля и АСУ (Control Systems, Command and Control Systems);
- прецизионные технологии изготовления (Precision Manufacturing);
- новые материалы, в том числе нано, композитные и создание материалов с заданными свойствами (Composite Materials);
- гибкие производственные линии, быстрое масштабирование (Flexible Production Lines And Rates);
- платформенные решения для инжиниринга, производства и логистики (Platform Solutions And Business Models).

В рамках проекта был проведен детальный анализ организаций для участия в программе «Цифровая экономика Российской Федерации» в статусе лидирующих исследовательских центров (более 460 организаций) по направлениям СЦТ на основе 17 критериев (ключевые параметры: научно-технологический задел, финансовая дееспособность, статус центра-организатора, обеспечивающего экспертную поддержку по реализуемым исследованиям и разработкам). В перечень вошли компании, признанные на международном уровне, научные организации, университеты, стартапы и малые инновационные предприятия, деятельность которых формирует технологический ландшафт развития цифровых технологий в Российской Федерации.

В ходе исследования было выявлено более 220 организаций, обладающих компетенциями в области новых производственных технологий. Наибольшее количество научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских (ОКР) работ этой «сквозной» технологии связано с новыми материалами (НИР – 4480 шт. общей стоимостью 41 094 млн руб., ОКР – 72 шт. общей стоимостью 713 млн руб.), аддитивными технологиями и быстрым прототипированием (НИР – 423 шт. общей стоимостью 14 247 млн руб., ОКР – 34 шт. общей стоимостью 411 млн руб.), имитационным и суперкомпьютерным моделированием продуктов (НИР – 747 шт. общей стоимостью 2 622 млн руб., ОКР – 9 шт. общей стоимостью 43 млн руб.), системами контроля и АСУ (НИР – 323 шт. общей стоимостью 2 031 млн руб., ОКР – 59 шт. общей стоимостью 879 млн руб.).

6 Согласно Атласу, под «сквозной» технологией понимается крупное направление научно-технологического развития.

В рамках развития программы «Цифровая экономика Российской Федерации» было определено 6 федеральных проектов, один из которых – «Цифровые технологии», – предполагает формирование технологических заделов по 9 направлениям «сквозных» цифровых технологий.

В рамках реализации федерального проекта в 2019 году были разработаны дорожные карты по каждой из 9 «сквозных» технологий:

- технологии виртуальной и дополненной реальностей;
- нейротехнологии и искусственный интеллект;
- квантовые технологии;
- новые производственные технологии;
- компоненты робототехники и сенсорика;
- системы распределенного реестра;
- технологии беспроводной связи;
- большие данные;
- промышленный Интернет.

Дорожную карту по «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» (далее – ДК СЦТ НПТ) подготовил Центр Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (далее – Центр НТИ СПбПУ) [2].

Для разработки ДК СЦТ НПТ были предварительно сформированы 7 субтехнологий. Оценка, отбор и анализ субтехнологий проводились на основе большого количества документов и информационно-аналитических материалов.

Таблица 9. Предварительный список субтехнологий, рассматривавшихся в рамках дорожной карты по развитию «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии»

№	Субтехнология	Элементы технологической карты субтехнологий
1.	Цифровое проектирование, моделирование и управление жизненным циклом	Компьютерное проектирование (Computer-Aided Design, CAD), математическое моделирование, компьютерный и суперкомпьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering, CAE, и High Performance Technical Computing, HPTC) / имитационное моделирование и суперкомпьютерный инжиниринг, компьютерная оптимизация (Computer-Aided Optimization, CAO), технологическая подготовка производства (Computer-Aided Manufacturing, CAM), технологии управления данными о продукте (Product Data Management, PDM), технологии управления жизненным циклом продукта (Product Lifecycle Management, PLM), «цифровые двойники» (Digital Twins)

№	Субтехнология	Элементы технологической карты субтехнологий
2.	Новые материалы	Технологии разработки и производства материалов с заданными свойствами; материалы и сырье для новых производственных технологий
3.	Аддитивные технологии	Технологии 3D- и 4D-печати (3D printing; 4D printing): системы компьютерного проектирования для аддитивных технологий (Design For Additive Manufacturing, DFAM) и инженерного анализа (Computer-Aided Engineering, CAE), технологическая подготовка производства для аддитивного производства, 3D- и 4D-принтеры, технологии постфинишной обработки
4.	Технологии «умного» производства	«Умные» производственные линии (Intelligent / Smart Production), «умная» робототехника, носимые устройства с встроенными технологиями дополненной / виртуальной реальности (wearable devices with augmented reality / virtual reality capability)
5.	Технологии контроля и управления производством	Системы управления предприятием (Enterprise Resource Planning, ERP), системы управления производством (Manufacturing Execution Systems, MES), системы управления технологическим процессом (автоматизированные системы управления технологическим процессом, АСУ ТП): человеко-машинный интерфейс (Human-Machine Interface, HMI), SCADA-системы, программируемые логические контроллеры, исполнительные устройства
6.	Гибридные и гибкие производственные линии, быстрое масштабирование	Гибкие, реконфигурируемые и модульные машины, неконвенциональные производственные технологии (Non-Conventional Machining)
7.	Платформенные решения для инжиниринга, производства и логистики	Платформы для интеграции бизнес-процессов в инжиниринге, производстве и логистике

Источник: Центр НТИ СПбПУ

Сформированные субтехнологии были апробированы в рамках полевых аналитических исследований.

Одна из целей работ по формированию дорожной карты, исполнителем которых выступил Центр НТИ СПбПУ, состояла в том, чтобы определить траектории развития НПТ в России и создать условия для системной работы по совершенствованию существующих подходов и решений в сфере НПТ. Одним из важнейших результатов работы по подготовке ДК СЦТ НПТ стала выработка конечного перечня субтехнологий.

В ходе заседания Наблюдательного совета АНО «Цифровая экономика» 24 мая 2019 года, состоявшегося в рамках конференции «Цифровая индустрия промышленной России», в состав «сквозных» цифровых технологий и субтехнологий НПТ были внесены изменения.

Так, было пересмотрено решение о выделении таких «сквозных» цифровых технологий, как большие данные и промышленный Интернет в качестве самостоятельных. СЦТ «Большие данные» была включена в предметные области дорожных карт «Технологии беспроводной связи» и «Нейротехнологии и искусственный интеллект», а СЦТ «Промышленный Интер-

нет» – в дорожные карты «Компоненты робототехники и сенсорика», «Технологии беспроводной связи», «Нейротехнологии и искусственный интеллект» и «Новые производственные технологии».

Таким образом, в итоговый вариант ДК СЦТ НПТ были включены разделы, связанные с мероприятиями по развитию субтехнологии «платформы промышленного Интернета» (на основе материалов, подготовленных Национальным центром информатизации в рамках разработки дорожной карты по развитию СЦТ «Промышленный Интернет»). Кроме того, в ДК СЦТ НПТ было учтено направление «Манипуляторы и технологии манипулирования», разработанное Университетом «Иннополис» в рамках дорожной карты «Компоненты робототехники и сенсорика». При этом из ДК СЦТ НПТ были исключены субтехнологии «новые материалы» и «аддитивные технологии».

В результате экспертного обсуждения в качестве ключевых компонентов СЦТ НПТ были зафиксированы уточненные «интегральные» субтехнологии, которые вошли в дорожную карту:

- цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design);
- технологии «умного» производства (Smart Manufacturing);
- манипуляторы и технологии манипулирования.

Дорожная карта по направлению развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» была утверждена 27 сентября 2019 года на заседании президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности.

2.3. Государственная политика в сфере передовых производственных технологий

Экономическое развитие промышленности: основные тренды

Согласно отчету Организации Объединенных Наций по промышленному развитию (ЮНИДО), все страны мира условно можно разделить на три типа по интенсивности внедрения технологий цифрового производства – технологий четвертой промышленной революции:

1-й тип: «Лидеры» – на 10 мировых экономик-лидеров приходится до 90% всех полученных патентов и 70% экспорта, еще около 40 стран-последователей активно развивают новые производственные технологии. При этом существует взаимосвязь между экономическим развитием страны в целом и ее технологическим развитием [68].

Таблица 10. Лидеры и последователи в области внедрений технологий цифрового производства

Группы стран	Примеры	Стратегия развития технологий	Краткое описание	Критерии
Лидеры (10 стран)	США, Япония, Германия, Китай, Тайвань, Франция, Швейцария, Великобритания, Республика Корея, Нидерланды	-	10 ведущих стран в области технологий передового цифрового производства	Страны, имеющие 100 или более заявок на международные патентные семейства в области передового цифрового производства (среднее

Группы стран	Примеры	Стратегия развития технологий	Краткое описание	Критерии
			До 91% всех патентных семейств, 70% экспорта, 46% импорта	значение для всех стран с определенной патентной активностью в этой области)
Последователи, участвующие в процессе производства технологий (23 страны)	Австралия, Австрия, Бельгия Бразилия, Канада, Гонконг, Хорватия, Чехия, Дания Финляндия, Индия, Ирландия Израиль, Италия, Литва, Люксембург, Норвегия, Польша, Российская Федерация, Сингапур, Словакия, Испания, Швеция	Инновации	Страны, активно участвующие в патентовании в области технологий передового цифрового производства	Страны, имеющие не менее 20 заявок на обычные патентные семейства или 10 заявок на международные патентные семейства в области передового цифрового производства (средние значения для всех стран с определенной патентной активностью при исключении группы лидеров)
		Экспорт технологий	Страны, активно участвующие в экспорте товаров, связанных с передовым цифровым производством	Страны, которые демонстрируют относительную специализацию на экспорте связанных с передовым цифровым производством товаров в больших объемах на мировых рынках (выше средней доли рынка при исключении группы лидеров)
Последователи, участвующие в процессе использования цифровых технологий (17 стран)	Алжир, Аргентина, Бангладеш, Белоруссия, Индонезия, Иран, Колумбия, Венгрия, Малайзия, Мексика, Португалия, Румыния, Саудовская Аравия, ЮАР, Таиланд, Турция, Вьетнам	Импорт технологий	Страны, активно участвующие в импорте товаров, связанных с передовым цифровым производством	Страны, которые демонстрируют относительную специализацию на импорте связанных с передовым цифровым производством товаров в больших объемах на мировых рынках (выше средней доли рынка при исключении группы лидеров)
Опоздавшие, участвующие в процессе производства цифровых технологий (16 стран)	Босния и Герцеговина, Болгария, Чили, Доминиканская Республика, Эстония, Греция, Киргизия, Латвия, Новая Зеландия,	Инновации	Страны с определенной патентной активностью в области технологий передового цифрового производства	Страны, имеющие хотя бы одну заявку на обычное патентное семейство в области передового цифрового производства

Группы стран	Примеры	Стратегия развития технологий	Краткое описание	Критерии
	Нигерия, Филиппины, Молдавия, Словения, Украина, Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ), Венесуэла	Экспорт технологий	Страны с определенной активностью в сфере экспорта товаров, связанных с передовым цифровым производством	Страны, которые либо демонстрируют относительную специализацию на экспорте товаров, связанных с передовым цифровым производством, либо реализуют данные товары в больших объемах на мировых рынках (выше средней доли рынка при исключении группы лидеров)
Опоздавшие, участвующие в процессе использования цифровых технологий (13 стран)	Коста-Рика, Кот-д'Ивуар, Эквадор, Египет, Сальвадор, Эфиопия, Малави, Сербия, Тунис, Туркменистан, Уганда, Узбекистан, Замбия и др.	Импорт технологий	Страны с определенной активностью в сфере импорта товаров, связанных с передовым цифровым производством	Страны, которые либо демонстрируют относительную специализацию на импорте товаров, связанных с передовым цифровым производством, либо реализуют данные товары в больших объемах на мировых рынках (выше средней доли рынка при исключении группы лидеров)
Отстающие (88 стран)	Другие страны с населением более 500 тыс. человек в 2017 году	-	Страны с очень низким уровнем участия или не участвующие в применении технологий передового цифрового производства	Все остальные страны, не входящие в предыдущие группы

Источник: Центр НТИ СПбПУ на основе отчета ЮНИДО, «Отчет о промышленном развитии – 2020. Индустриализация в цифровую эпоху», 2019 [68]

2-й тип: «Последователи» – 40 стран с более низкими показателями, чем у «Лидеров». При этом можно ранжировать «Последователей» по участию в разработке новых технологий: Израиль – один из лидеров по международным патентам, Австрия и Канада – лидеры по экспорту технологий, а Таиланд и Турция – лидеры по импорту. Для этого типа характерна 8% международных патентов и почти 50% импорта технологий передового производства.

3-й тип: «Отстающие» – из 167 стран с населением свыше 500 тысяч человек только 50 стран являются активными участниками развития передовых производственных технологий, остальные 127 стран демонстрируют либо низкую активность, либо не проявляют активности.

В отчете Всемирного экономического форума (ВЭФ) «Четвертая промышленная революция. Целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций» была проведена оценка этого процесса [66]. Для этого аналитики ВЭФ и McKinsey&Company выбрали предприятия – «маяки» четвертой промышленной революции, которые могут выступать ориентирами для других компаний. Ключевыми направлениями трансформации производства являются сетевая интеграция, интеллектуализация и гибкая автоматизации. Выбранные «маяки» успешно развивают эти направления и перешли к широкой интеграции как за счет внедрения «сквозных» инноваций по всей цепочке добавленной стоимости, так и за счет формирования инновационной производственной системы: совершенствования операционной деятельности.

В результате отбора эксперты ВЭФ включили в перечень «маяков» шестнадцать предприятий по всему миру.

Рисунок 28. Глобальные компании – «маяки» четвертой промышленной революции

Четвертая промышленная революция. Целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций

Источник: «Четвертая промышленная революция. Целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций», ВЭФ, McKinsey, 2019 [66]

Среди компаний, включенных в перечень, BMW Group, Siemens, Bayer, Bosch, Danfoss, Procter & Gamble и другие.

Эксперты ВЭФ провели анализ успешности «маяков» и пришли к выводу, что компании-«маяки» появились в результате успешной модернизации существующих предприятий, в том числе за счет оптимизации, подключения к сети, выборочного внедрения нового оборудования.

Программы поддержки ППТ в США

Программа производственных технологических центров, которую запустил Национальный институт стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology, NIST) стала первой в США, связанной с передовыми производственными технологиями. Программа предполагала выделение грантов на создание специализированных центров, деятельность которых была направлена на рост производительности труда и технологических показателей производств США за счет трансфера производственных технологий.

Основные цели поддержки – поддержка традиционных производственных центров США, сокращение снижения рабочих мест в отрасли, повышение производительности труда.

Рисунок 29. Обложки стратегических и программных документов, в которых зафиксированы меры поддержки передовых производственных технологий (США, 1992, 2011, 2018 годы)

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам источников [81, 84, 85]

С 1989 года было создано 7 профильных центров, финансирование программы в 1992 году составило $ 17,6 млн. Конкурсы по отбору центров повторялись в 1988, 1990 и 1992 годах. Грантовая поддержка осуществлялась на основе растущего софинансирования со стороны самих центров, так, на 6-й год развития ожидалось 80% софинансирование со стороны центров.

Цель создания центров – обеспечение поддержки региональных центров промышленности. Каждый из созданных центров предоставляет уникальную комбинацию услуг для нужд местных производственных компаний, а также интегрирует усилия федерального правительства с частным и другими государственными ресурсам для обеспечения спроса на новые технологии со стороны локальных потребителей. По сути, центры осуществляют посредническую функцию, обеспечивая внедрение новых компетенций и технологий на промышленных предприятиях с целью повышения их конкурентоспособности [112].

В 2000-х годах наиболее важными и системными, с точки зрения авторов, мерами государственной поддержки ППТ стали Закон о возрождении высокопроизводительных вычислений (High-End Computing Revitalization Act) 2004 г. [113] и доклад «Промышленное производство в США: к глобальному лидерству через численное моделирование» (U.S. Manufacturing—Global Leadership Through Modeling and Simulation) 2009 г. [114]

В первом случае принятый по инициативе Министерства энергетики США закон был направлен на поддержку разработки HPC-систем (включая программное и аппаратное обеспечение) для промышленных и научных нужд путем создания специализированных центров, исследовательских команд, обеспечения трансфера технологий из науки в промышленность и обеспечения доступа научного сообщества к передовым промышленным HPC-системам.

Во втором случае Совет по конкурентоспособности США (Council on Competitiveness), объединяющий руководителей компаний, президентов университетов, лидеров профсоюзов, директоров национальных лабораторий и играющий значительную роль в формировании экономической политики страны, опубликовал влиятельный доклад, в котором указывалось, что для поддержания конкурентных преимуществ на мировом рынке американские производители

должны быть первыми в высокопроизводительных вычислениях («For U.S. Manufacturers to Out-compete, They Must Out-compute»). Итогом доклада явились различные меры на государственном уровне, направленные на внедрение средств компьютерного моделирования и HPC-систем на малых и средних промышленных предприятиях.

В 2010-х годах в США стартовала новая инициатива по поддержке передовых производственных технологий, состоящая из нескольких ключевых программ. Наиболее важные из них [115]:

1) *Консорциумы по передовым производственным технологиям (AMTech)*
   Программа стартовала в 2013 году, AMTech поддерживает грантами новые и усиливает существующие промышленные консорциумы, деятельность которых направлена на рост и развитие передовых производственных технологий в США. В результате реализации программы в 2014 и 2015 годах были распределены 34 гранта. После распределения грантов был сформирован ряд дорожных карт, было создано 5 новых институтов в сфере проектов AMTech: фотоника, цифровое производство, легкие материалы, биофармацевтика, устойчивое производство [116].

2) *Инвестирование в Партнерства производственных сообществ (The Investing in Manufacturing Communities Partnership program, IMCP)*
   Программа мотивирует сообщества внедрять конкурентные экономические стратегии и привлекать инвестиции глобальных производителей и цепочек поставок. Посредством реализации программы правительство поощряет передовой опыт и координирует грантовые программы поддержки в нескольких агентствах и министерствах [115].

3) *Программа Manufacturing USA*
   Программа была запущена в 2014 году. В рамках инициативы созданы 14 национальных институтов в сфере производственных технологий. Каждый институт создан в рамках частно-государственного партнерства и финансируется как за счет государственных, так и частных средств. Институты формируют основу для коммуникаций организаций-участников, работают над совместными крупным исследовательскими и проектными задачами, осуществляют подготовку и переподготовку кадров [115].

4) *Инициатива «Геном материалов» (Materials Genome Initiative)*
   Программа стартовала в 2011 году. Бюджет составил $ 250 млн на исследования и инновационную инфраструктуру для создания передовых материалов в растущих и развитых секторах промышленности США. Цель программы – ускорить разработку, развитие и внедрение передовых материалов: сократить традиционный цикл, длительность которого составляет почти 20 лет [115].

5) *Запуск программы MForesight (Manufacturing Foresight)*
   Цели программы направлены на создание механизма для обеспечения скоординированного вклада частного сектора в национальные приоритеты исследований и разработок в области передовых технологий производства [115].

А также ряд других инициатив, таких как Национальная экспортная инициатива (National Export Initiative, NEXT), Национальная нанотехнологическая инициатива (National Nanotechnology Initiative, NNI), Национальная робототехническая инициатива (National Robotics Initiative), инициатива SelectUSA, направленная на привлечение инвестиций, инициатива Sustainable Manufacturing Clearinghouse – база данных по мерам поддержки для промышленности, и национальная сеть Расширенных партнерств в промышленности (MEP National NetworkTM), деятельность которой направлена на поддержку малого и среднего бизнеса в промышленной сфере, в 2017 году в сети было более 26 тыс. производителей, центры были открыты в 50 штатах, общее количество привлеченных экспертов превысило 1300 человек [115].

В 2018 году администрация президента Д. Трампа сформировала стратегию (план) «Американское лидерство по передовым производственным технологиям». Документ фиксирует процесс снижения занятости в промышленном секторе, несмотря на предпринимаемые федеральным правительством меры, а также снижение доли промышленности в ВВП США.

По мнению авторов доклада, существуют несколько факторов, которые влияют на конкурентоспособность страны в сфере передового производства (ниже приводятся некоторые из факторов):

1) **Быстрое развитие технологий в комбинации с экономическими факторами изменяет то, как продукты и услуги проектируются, разрабатываются, распространяются, как осуществляется последующая поддержка разработок.** Производство уже не может рассматриваться в отрыве от цепочки добавленной стоимости – системы исследований и разработок, проектирования, развития программного обеспечения (ПО) и услуг по управлению жизненным циклом.

2) **Развитие передовых производственных технологий требует развития соответствующей инфраструктуры.** Технологические инновации тесно связаны с производственными возможностями производства. Необходимость государственной поддержки инфраструктуры связана со значительным падением частных инвестиций в этом направлении, так как многие инвесторы переключились на поддержку стартапов, разрабатывающих программное обеспечение. Государственная поддержка должна предоставляться в рамках государственно-частного партнерства.

3) **Поддержка, направленная на развитие надежной и предсказуемой системы интеллектуальных прав, что позволит эффективно поддерживать инновации.**

4) **Растущие рынки, экспорт и торговля зависят от развития передового производства.** Развивающиеся рынки будут расти за счет совершенствования новых технологий, многие из этих технологий влияют не только на рост производительности труда, но и формируют рынки самих технологий.

5) **Политика протекционизма по отношение к сфере передового производства США.** В рамках политики предполагается формирование нормативной правовой базы – стандартов и технологического регулирования, которые будут поддерживать сферу передовых производств и сектор защиты интеллектуальных прав, а также структуры, которые обеспечат свободный обмен данными.

6) **Кадры для передовых производств нуждаются в более высоком уровне подготовки в науке, технологиях, инженерии и математике (Science, Technology, Engineering and Mathematics, STEM).** Федеральное правительство планирует оказание поддержки с целью развития и распространения STEM-образования.

7) **Координация деятельности федеральных, региональных и локальных структур государственного управления с целью поддержки развития передовых производств** [85].

Стратегия предусматривает реализацию трех целей:

1) Развитие и трансфер передовых производственных технологий.

2) Образование и подготовка кадров для промышленного сектора.

3) Расширение доли национальных производств в цепочках поставок [85].

Рисунок 30. Аддитивное комплексирование государственных инициатив по развитию HPC-систем, передовых материалов и ППТ, STEM-образования в США

Источник: Центр НТИ СПбПУ на основе открытых источников (2015–2020 годы)

В рамках реализации Стратегии выделяются отдельные направления передовых производственных технологий, помимо технологий, относящихся непосредственно к ППТ (интеллектуальные производства и процессинговые технологии): агропромышленный комплекс, медицинская отрасль и электроника.

Дополнительно Стратегия фокусируется на подготовке кадров для новой промышленности:

1) Базовое STEM-образование, ориентированное на производственный сектор. Необходимо преодоление разрыва между производствами и образованием. Так, предыдущая инициатива Manufacturing USA стимулировала трансформацию «образа» промышленности, что позволило привлечь в сферу почти 200 тыс. студентов в 2017 году.

2) Образовательная подготовка инженеров для производства – необходимо преодоление дефицита высококвалифицированных кадров, в настоящий момент реализуются программы дополнительного образования и подготовки инженеров Министерства обороны США, а также Национального научного фонда.

3) Развитие партнерств промышленности и науки / образования, в том числе государственно-частного сотрудничества по подготовке кадров.

4) Формирование программ стажировок и обучения на производстве, а также формирование реестра доступных для прохождения программ [85].

Также предполагается поддержка развития потенциала национальных цепочек добавленной стоимости:

1) Рост и расширение цепочек поставок – поддержка развития программ трансфера технологий на малых и средних предприятиях (МСП) с целью развития их потенциала по включению в цепочки поставок передового производства.

2) Развитие и расширение компетенций МСП в сфере кибербезопасности с целью повышения эффективности защиты интеллектуальной собственности.

3) Развитие частно-государственных партнерств, в том числе консорциумов и партнерств с участием малого и среднего бизнеса и др. [85].

Выводы

Предпринимаемые в США меры по поддержке передовых технологий, а также содействие их внедрению имеют долгосрочный и последовательный характер:

1) Новые инициативы не отменяют уже реализуемые, а являются корректирующими / дополняющими. Поддержка передовых производственных технологий имеет комплексный характер, отражая политику производственного сектора в целом. Так, новая Стратегия американского лидерства в передовом производстве предполагает реализацию комплексных мер, включая стимулирование отраслей экономики, зависимых от импорта [85].

2) Следует отметить зависимость всех внедряемых инициатив от государственной поддержки, поэтому последние инициативы (2018 год) направлены на создание частно-государственных партнерств, чтобы снизить эту зависимость.

3) Сохранение части негативных тенденций для производственного сектора, несмотря на государственную поддержку: снижение доли промышленности в ВВП, а также снижение численности занятых в отрасли. По информации, представленной в Стратегии американского лидерства в передовом производстве, между 2006 и 2010 годом занятость в производственной сфере снизилась с 14,2 млн человек до 11,3 млн человек. Также отмечается снижение инвестиций частного бизнеса в развитие технологической инфраструктуры. При этом инвестиции перераспределяются в пользу поддержки профильных стартапов, разрабатывающих программное обеспечение, что не является достаточным условием для развития промышленности в целом [85].

4) Параллельно мероприятиям по поддержке передовых производств в США реализуется Стратегия реиндустриализации (reshoring), направленная на возврат промышленных производств в страну. Частично этот тренд уже развивается – цены на производственный аутсорсинг в Восточной Азии растут, что заставляет производителей в США либо искать новых исполнителей за рубежом, либо возвращать производство в страну. С другой стороны, развернулась так называемая торговая война со странами ЕС и КНР, основные механизмы которой – повышение пошлин на импорт продукции, а также введение санкций против некоторых зарубежных компаний (например, против компании ZTE) [117].

Программы поддержки ППТ в Канаде

Ситуация в сфере обрабатывающих производств в начале 2000-х годов была сходной с ситуацией в США. В 2015 году в производственной сфере было занято 1,7 млн человек, тогда как в 1976 году – 1,9 млн человек. Количество общих рабочих часов снизилось на 23% между 2004 и 2015 годом, при этом объем производства снизился только на 10% за счет роста производительности труда на 17% за тот же период. При этом занятость в отрасли упала с 15% в общем объеме занятых в 1998 году до 9,5% в 2015 году [118]. В тоже время более 50% исследований и разработок приходится именно на сектор обрабатывающих производств.

В октябре 2016 года организация «Канадские производители и экспортеры» (Canadian Manufacturers and Exporters, CME) в кооперации с Канадской производственной коалицией (Canadian Manufacturing Coalition) запустили инициативу «Индустрия 4.0» (Industrie 4.0), в том числе разработку дорожной карты до 2030 года совместно с Министерством инноваций, науки и экономического развития (Department of Innovation, Science and Economic Development, ISED) [118].

Рисунок 31. Отчет о необходимости реформирования производственного сектора Канады и инициатива «Индустрия 2030»

Источник: Палата представителей Канады, портал Индустрии 2030 [118, 119]

В результате в 2016 году был разработан стратегический документ «Индустрия 2030. Производство, рост, инновации и процветание Канады» (Industrie 2030. Manufacturing, Growth, Innovation and Prosperity for Canada) [119]. Основной приоритет документа – удвоение промышленного производства к 2030 году.

По мнению авторов документа, в основе развития обрабатывающих производств в Канаде до 2030 года лежит 4 основополагающих принципа:

1) Сохранить существующий объем и привлечь новые инвестиции в развитие промышленного потенциала.
2) Производить больше продуктов и технологий в Канаде.
3) Ускорить внедрение новых технологий и процессов.
4) Продавать больше клиентам в Канаде и по всему миру.

Для реализации этих принципов необходимо достижение ряда целей:

1) Подготовка высококвалифицированных кадров.
2) Ускорение внедрения передовых производственных технологий.
3) Содействие развитию инноваций, коммерциализации и разработке новых продуктов.
4) Создание конкурентной бизнес-экосистемы в Канаде.
5) Расширение присутствия на национальном и международных рынках [119].

В рамках первой «кадровой» цели предполагается реализация задач, сходных со Стратегией американского лидерства в передовом производстве, а именно вовлечение в STEM-подготовку молодежи и других категорий населения с целью подготовки национального кадрового резерва, расширения взаимодействия высших учебных заведений и индустрии, поддержки подготовки, которую проводят непосредственно предприятия, в том числе в сфере лидерства и менеджмента, улучшения доступа иностранных квалифицированных кадров.

По направлению передовых производственных технологий предполагается реализация следующих задач.

1) Повысить нормы амортизации для передовых производственных технологий, чтобы помочь компенсировать растущие затраты на новое оборудование и снизить риски, связанные с внедрением технологий.

2) Создать производственные и технологические центры для демонстрации и тестирования новых передовых производственных технологий.

3) Расширить все региональные программы поддержки инвестиций в технологии производства по всей стране, в том числе обеспечить одинаковый доступ ко всем программам поддержки вне зависимости от региона.

4) Реинвестировать все федеральные и провинциальные доходы от налогов на выбросы углерода, чтобы компенсировать затраты на закупку новых технологий и систем мониторинга и оценки (Monitoring and Evaluation, M&E), так как инвестиции в новые технологии имеют решающее значение для снижения воздействия производства на окружающую среду, а также для повышения производительности.

Поддержка передовых производственных технологий осуществляется Национальным исследовательским советом Канады (National Research Council Canada).

1) Программа «Передовое производство» (Advanced Manufacturing program). Программа направлена на развитие «умных» производств в Канаде в отрасли транспортного машиностроения (аэрокосмическая отрасль, производство наземных транспортных средств), в том числе на поддержку технологических прорывов. В программе поддержки участвуют 245 исследователей и технических экспертов.

    a. Трансформация существующих производственных процессов в «умные» производственные процессы: обработка металлов, полимеров, применение композитов и их сборок с использованием моделирования данных, систем поддержки принятия решений, промышленных роботов.

    b. Развитие и внедрение новых цифровых технологий, таких как системы машинного зрения, встроенных датчиков, искусственного интеллекта для сбора данных и повышения ценности данных о технологических процессах на уровне фабрики и в производственной цепочке.

c. Получение преимуществ от использования возобновляемых ресурсов и энергоэффективных продуктов на канадском рынке посредством исследований, направленных на снижение веса транспортных средств, применение технологий аддитивного производства и трансформации биоотоходов и промышленных отходов в продукты с добавленной стоимостью.

В рамках программы работают несколько исследовательских групп, оказывающих поддержку в проведении исследований по нескольким направлениям передовых производственных технологий.

- METALTec (производство металлов);
- SIGBLOW (специализированная группа по выдувному формованию);
- SNAP Composites (передовые термореактивные композиты);
- STAMP Composites (технологии штамповки для автомобилестроения);
- Surftec (передовые технологии обработки поверхностей) [120].

2) Инициатива «Инновационные суперкластеры» (Innovation Superclusters Initiative) стартовала в мае 2017 года. Правительство Канады выделило на поддержку суперкластеров $ 950 млн, которые заявители могли получить по конкурсу, предоставив достаточный уровень софинансирования.

Требования к кластерам:

1) Большое количество компаний, МСП, исследовательских и образовательных институтов и других партнеров, работающих совместно.

2) Привлечение софинансирования от различных компаний и организаций-участников, представляющих разные отрасли экономики.

3) Соинвестирование 1 к 1 к доле федерального финансирования.

В рамках инициативы создано 5 суперкластеров, два из которых имеют непосредственное отношение к передовым производственным технологиям:

1) Суперкластер «Производство следующего поколения» (Next Generation Manufacturing, NGen). Располагается в Онтарио, цель развития – развитие производственных технологий следующего поколения, включая робототехнику и 3D-принтеры. Фокусировка кластера: Интернет вещей, машинное обучение, кибербезопасность, аддитивное производство (3D-печать). Более 130 участников. Цели развития кластера: 13500 рабочих мест в течение десяти лет, влияние на ВВП – $ 13,5 млрд в течение следующих 10 лет [121].

2) Суперкластер «Цифровые технологии» (Digital Technology Supercluster). Располагается в Британской Колумбии, технологический фокус – виртуальная, смешанная и дополненная реальности, сбор данных и аналитика, квантовые вычисления. Отраслевая фокусировка кластера – добыча природных ресурсов, точная медицина и производственный сектор. Более 270 участников. Цели развития кластера – создание более 13500 рабочих мест, влияние на ВВП – $ 5 млрд в течение следующих 10 лет [122].

Проект «Цифровой двойник обучающей фабрики» [123]

Экспериментальное подтверждение (proof-of-concept) возможности применения цифровых двойников в производственном процессе аэрокосмических компонентов. Общий объем финансирования составляет $ 9,2 млн.

Моделирование традиционных производственных процессов в виртуальной среде создаст, по сути, цифровой аналог реальной производственной площадки. Для сбора данных в режиме реального времени будут размещены датчики, которые будут использоваться в сочетании с численным моделированием производственной линии для более быстрого выявления проблем, более точного прогнозирования результатов и, в конечном итоге, для производства более качественных продуктов.

Рисунок 32. Описание проекта «Цифровой двойник обучающей фабрики»

Источник: Суперкластер «Цифровые технологии»

Выводы

По результатам анализа можно сформировать следующие выводы:

1) Отмечаются сходные траектории промышленного кризиса и эволюции мер поддержки в США и Канаде. Обе страны испытывают последствия рецессии в отраслях промышленного производства, а также сокращение рабочих мест в долгосрочном горизонте планирования.

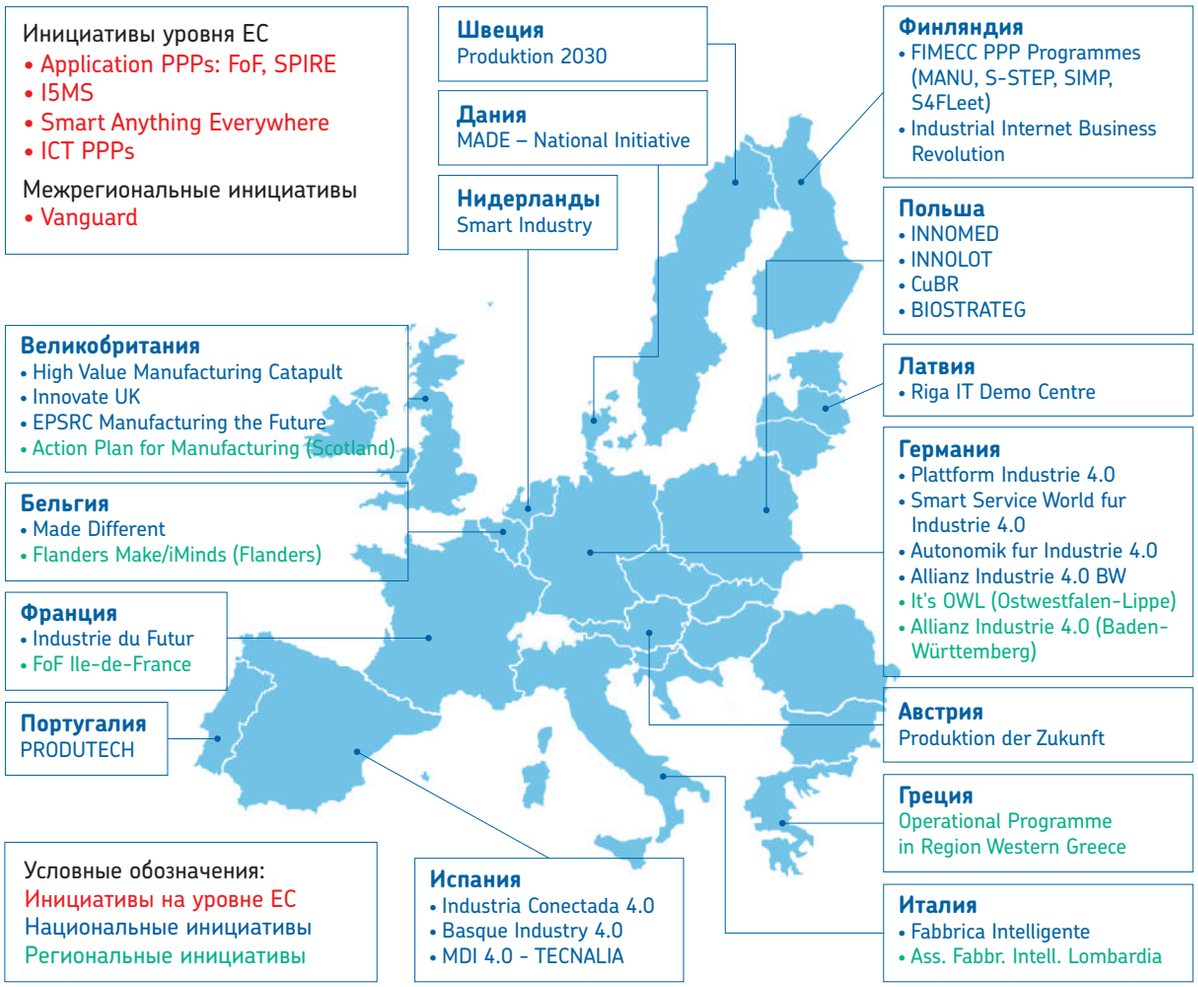
2) В отличие от США, меры по поддержке передовых производственных технологий в Канаде менее диверсифицированы, однако эффективно построен статистический мониторинг внедрения передовых производственных технологий на промышленных предприятиях.

3) Как в США, так и в Канаде под поддержкой передовых производств подразумевается поддержка промышленности в целом, в том числе создание новых рабочих мест, привлечение инвестиций, реиндустриализация, подготовка кадров и, как одно из направлений, развитие передовых производственных технологий.

Программы поддержки ППТ в Европейском союзе / Индустрия 4.0

Программы поддержки передового производства в Европейском союзе могут быть разделены на три уровня: общеевропейский (охватывают несколько государств-членов), национальный (уровень стран) и региональный (уровень административно-территориальных единиц).

Рисунок 33. Инициативы в области передового производства Европейского союза разных уровней



Источник: «Центры цифровых инноваций», European Commission, 2014 [124]

Среди программ и проектов, направленных на развитие ППТ и реализуемых на общеевропейском уровне, можно выделить такие глобальные инициативы, как «Горизонт 2020» («Horizon 2020»), «Инновации в сфере информационно-коммуникационных технологий для промышленных малых и средних предприятий» («ICT Innovation for Manufacturing SMEs»), «Инициатива Авангард: Новый рост через «умную» специализацию» («The Vanguard Initiative New Growth through Smart Specialisation»).

Рисунок 34. Обложки документов общеевропейских программ, в которых зафиксированы меры поддержки передовых производственных технологий

Источник: s3vanguardinitiative.eu; The European Factories of the Future Research Association (EFFRA) [130, 135, 138]

Horizon 2020

Horizon 2020 – самая крупная программа исследований и инноваций в Европейском союзе (восьмая рамочная программа ЕС по развитию научных исследований и технологий), на которую было выделено около 80 млрд евро на период с 2014 по 2020 год (в дополнение к частным инвестициям, привлеченным в ходе реализации программы), и направленная на обеспечение глобальной конкурентоспособности Европы [125].

В рамках программы выделяется несколько разделов: «Наука высокого уровня» (Excellent Science), «Промышленное лидерство» (Industrial Leadership), «Решение социальных проблем» (Tackling Societal Challenges). Часть программы, посвященная технологическому промышленному лидерству, охватывает следующие технологии: нанотехнологии (Nanotechnologies), современные материалы (Advanced Materials), передовые технологии производства и обработки (Advanced Manufacturing and Processing) и биотехнологии (Biotechnology) [126]. Для реализации целей программы наряду с другими инструментами применяется механизм договорного государственно-частного партнерства (Contractual Public-Private Partnerships, cPPPs). Всего на данный момент заключено 10 государственно-частных партнерств между ЕС и представителями бизнеса в различных областях, имеющих стратегическое значение для европейской промышленности (FoF, EeB, EGVI, SPIRE, Photonics, Robotics, HPC, 5G, Big Data and Cybersecurity cPPP) [127].

Одно из партнерств, запущенных с целью развития ключевых перспективных технологий (Key Enabling Technologies, KETs) и передового производства в ЕС, направлено на создание фабрик будущего (Factories of the Future PPP, FoF) [126]. Партнерство Factories of the Future было образовано в ноябре 2008 года. В качестве целей инициативы были определены повышение конкурентоспособности и устойчивости промышленности в Европе, удовлетворение глобального спроса на доступные, персонализированные и экологически эффективные продукты; адаптация производства к «умной», «зеленой», социально-интегрированной экономике; создание рабочих мест посредством исследований и инноваций в области новых производственных технологий и систем (New Production Technologies and Systems) [128].

FoF – это основная программа Европейского союза по осуществлению следующей промышленной революции (Next Industrial Revolution) путем создания «фабрик 4.0» (Factories 4.0). Бюджет программы, предусмотренный на период с 2014 по 2020 год, составляет 1,15 млрд евро [129]. Частная сторона в партнерстве FoF представлена Европейской исследовательской ассоциацией фабрик будущего (European Factories of the Future Research Association, EFFRA) [128].

Деятельность в рамках FoF концентрируется на расширении технологической базы производства в ЕС путем разработки и интеграции передовых технологий. В качестве целевых направлений НИОКР определены следующие:

- наукоемкие технологические процессы, включая 3D-печать, нано- и микроразмерное структурирование (High-Tech Manufacturing Processes, including 3D Printing, Nano- and Microscale Structuring);
- адаптируемое и «умное» производственное оборудование и системы, в том числе мехатроника, робототехника, фотоника (Adaptive and Smart Manufacturing Equipment and Systems, including Mechatronics, Robotics, Photonics);
- ресурсосберегающая планировка заводов и управление данными, призванные повысить производительность (Resource-Efficient Factory Design and Data Management for increased production performance);
- совместные и мобильные предприятия, сетевые заводы, динамически связывающие цепочки поставок и локальное производство (Collaborative and Mobile Enterprises, Networked Factories linking dynamically supply chains to local production);
- производство, ориентированное на человека: проектирование рабочих мест будущего (Human-Centred Manufacturing: designing the workplaces of the future);
- клиенто-ориентированное производство: связывание продуктов и процессов с инновационными услугами (Customer-Focused Manufacturing: linking products and processes to innovative services) [130].

С начала партнерства было запущено более 200 проектов с участием более 1000 организаций со всей Европы [128]. Проекты охватывали весь спектр производства: конфигурации цепочек поставок, виртуальные фабрики, обработка материалов, программирование и планирование, клиенто-ориентированное проектирование, энергоэффективность, сокращение выбросов, новые технологии обработки, новые материалы, модернизация существующей техники и технологий [130].

I4MS

«ICT Innovation for Manufacturing SMEs» (I4MS) – программа, направленная на поддержку малых и средних промышленных предприятий и компаний средней рыночной капитализации в расширении использования информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) в своей деятельности. В рамках инициативы компании могут обращаться за технической и финансовой поддержкой для проведения экспериментов, позволяющих им тестировать цифровые инновации в своем бизнесе, через открытые конкурсы (open calls) [131]. Программа предполагает осуществление поддержки предприятий в трех направлениях: 1) обеспечение доступа к компетенциям, необходимым для оценки, планирования и реализации цифровой трансформации; 2) обеспечение доступа к инновационным сетям широкого спектра компетенций и примеров передового опыта; 3) предоставление финансовой поддержки для реализации цифровой трансформации [132].

Инициатива I4MS была запущена в 2012 году. Мероприятия программы направлены на цифровую трансформацию производственного сектора в четырех технологических областях:

- услуги численного моделирования на основе облачных вычислений HPC (HPC Cloud-Based Simulation Services);
- передовое лазерное оборудование (Advanced Laser Based Equipment Assessment);
- промышленные робототехнические системы для МСП (Industrial Robotics Systems for SMEs);
- «умные» киберфизические системы для высокоточного и эффективного производства (Smart Cyber Physical Systems for High Precision And Efficient Production) [132].

I4MS структурирована на 4 последовательных этапа.

Этап 1 был запущен в июле 2013 года и направлен на создание центров цифровых инноваций (Digital Innovation Hubs, DIHs), формирование базового сообщества / экосистемы I4MS в 4 технологических областях.

Этап 2 начался осенью 2015 года и был направлен на продолжение роста базовой экосистемы I4MS, расширение ее европейского измерения, стимулирование создания новых DIH посредством специальной программы наставничества. На этом этапе доступ к финансированию ЕС стал проще благодаря новой схеме так называемого «каскадного финансирования» H2020 «Финансовая поддержка третьих сторон» (H2020 «Financial Support to Third Parties») [133].

В ходе реализации Этапов 1 и 2 на поддержку предприятий было выделено около 110 млн евро [131].

Этап 3 стартовал в сентябре 2017 года с целью укрепления экосистемы I4MS. На этом этапе европейским МСП были представлены новые подходы и методы, связанные с бизнес-моделями, доступом к финансированию и возможностями обучения для переподготовки персонала. Общий объем финансирования, предоставленный на третьем этапе, составил 34 млн евро [131].

На третьем этапе основное внимание было сосредоточено на внедрении междисциплинарных технологий путем реализации следующих мер:

- кастомизации передовых цифровых технологий под технические и экономические требования производственных МСП;
- создания платформ (Marketplaces) для доведения этих технологий до производственного сектора;
- внедрения технологий в реальные промышленные условия и повышение конкурентоспособности производственных МСП и поставщиков технологий, участвующих в экспериментах по применению технологий (Application Experiments);
- продвижения и распространения ценностного предложения I4MS и достигнутых результатов посредством создания крупнейшего онлайн-сообщества, посвященного обмену знаниями и поддержке перехода европейской промышленной базы МСП в цифровую эпоху [133].

Для этого были запущены следующие проекты (подпрограммы поддержки) [133]:

- «AMable» – услуги аддитивного производства. Цель: поддержка мелкосерийного

производства персонализированных продуктов без необходимости приобретать дорогостоящее оборудование и программное обеспечение.

- «Cloudifacturing» – облачные сервисы численного моделирования HPC. Цель: предоставить МСП доступ к передовому программному обеспечению и методам моделирования экономически эффективным, надежным и быстрым способом.

- «MIDIH» – киберфизические системы (Cyber-Physical System, CPS) и Интернет вещей (IoT) в производственных процессах. Цель: обеспечение функциональной совместимости, децентрализации процесса принятия решений и оцифровки продуктов, производственных процессов и бизнес-процессов.

- «L4MS» – робототехника. Цель: поддержка малого и среднего бизнеса в развертывании экономически эффективной и быстрой автоматизации цеховой логистики.

Этап 4 начался в 2020 году и направлен на ускорение создания, развития и внедрения передовых цифровых технологий в европейской промышленности; особенное внимание уделяется секторам с низким уровнем цифровизации. Цель состоит в том, чтобы способствовать безопасному внедрению цифровых технологий для развития продуктов, процессов и бизнес-моделей, которые ведут к созданию персонализированных продуктов и эффективному мелкосерийному производству [133].

На четвертом этапе DIH должны повысить доступ МСП к услугам цифровой трансформации, продвигать инновационные трансграничные эксперименты, включая деятельность по привлечению инвесторов, обучению и развитию навыков, и обеспечивать расширение географического охвата финансируемых прикладных экспериментов в одной или нескольких из указанных областей:

- «умное» моделирование (Smart Modelling, Simulation); оптимизация для цифровых двойников (Optimization for Digital Twins);

- лазерное оборудование в передовом и аддитивном производстве (Laser-Based Equipment in Advanced and Additive Manufacturing);

- инновационный искусственный интеллект в производственных и когнитивных автономных системах (Innovative Artificial Intelligence in Manufacturing and Cognitive Autonomous Systems);

- технологии взаимодействия человека с роботом (Human-Robot Interaction Technologies) [133].

Общий объем финансирования для этапа 4 составляет 71 млн евро, из которых не менее 50% будет распределено между МСП и компаниями средней рыночной капитализации через открытые конкурсы (в виде прямого финансирования или в виде инновационных услуг) [133].

Vanguard Initiative

Инициатива «The Vanguard Initiative New Growth through Smart Specialisation» (Vanguard Initiative, VI) была запущена в 2014 году. Цель программы – повысить конкурентоспособность ЕС и активизировать рост европейской промышленности за счет предпринимательских инноваций «снизу вверх»; основное внимание направлено на сферу передового производства (EU Advanced Manufacturing, ADMA). Первоначально к Миланской декларации, излагающей основные положения инициативы Vanguard, присоединились 15 европейских регионов-партнеров, в настоящее время программа объединяет 30 регионов [134]. Достижение целей ини-

циативы предполагается посредством обмена информацией; совместной разработки стратегических дорожных карт для согласования политики национального уровня с общеевропейской; реализации многоуровневых подходов стимулирования инвестиций и обеспечения возможности превращения региональных партнерств и кластеров с глобальным потенциалом в трансграничные сетевые кластеры мирового уровня [135].

В основу Vanguard Initiative легли принципы концепции «умной специализации» – подхода, предполагающего объединение усилий местных органов власти, представителей академического сообщества, сферы бизнеса и гражданского общества при поддержке фондов ЕС в целях реализации стратегии стимулирования экономического роста, а также создания рабочих мест в Европе посредством выявления и развития у каждого региона особой области конкурентных преимуществ (специализации) [136].

В рамках Vanguard Initiative запущены 5 пилотных проектов, направленных на использование сетевых эффектов региональных инвестиций в совместной разработке и демонстрации новых бизнес-решений, с целью изучения возможностей развития цепочек создания стоимости в ЕС путем совместного инвестирования. Проектами руководят регионы-партнеры VI, но в число участников входят также регионы с соответствующими стратегиями «умной специализации», не являющиеся партнерами [137].

Первые три проекта, объединенные по тематике передового производства, были запущены в 2014 году:

- Передовое производство для применения в энергетике в суровых климатических условиях (Advanced Manufacturing for Energy Related Applications in Harsh Environments). Руководство проекта: Шотландия, Страна Басков.

- Высокоэффективное производство с применением технологий 3D-печати (High Performance Production with 3D Printing). Руководство проекта: Южная Голландия, Фландрия, Норте.

- Эффективное и устойчивое производство (Efficient and Sustainable Manufacturing). Руководство проекта: Каталония, Ломбардия [138].

Второе поколение проектов было запущено в 2015 году, пилоты посвящены следующим направлениям:

- Биоэкономика – межрегиональное сотрудничество по инновационному использованию непищевой биомассы (Bio-Economy – Interregional Cooperation on Innovative Use of Non-Food Biomass). Руководство проекта: Рандстад, Ломбардия.

- Новые продукты на основе нанотехнологий (New Nano-Enabled Products). Руководство проекта: Сконе, Тампере [138].

Основной целью пилотных проектов Vanguard является ускорение разработки конкретных коммерческих продуктов в целевых цепочках создания стоимости за счет разработки отраслевых мультирегиональных демонстрационных платформ. Пилоты сосредоточены на прикладных разработках (УГТ-5 и выше), а не на совместных проектах НИОКР. Реализация пилотных проектов осуществляется в соответствии с четырехэтапной методологией [134]:

- «изучение» (Learn) – картирование потенциальных участников и объектов инфраструктуры развивающихся цепочек создания стоимости, инновационных кластеров и отраслей;

– «подключение» (Connect) – сопоставление партнеров в определенных цепочках создания стоимости в регионах, стремящихся к сотрудничеству на основе взаимодополняемости соответствующих стратегий «умной специализации»;

– «демонстрация» (Demonstrate) – развитие сети пилотов и демонстраторов, основанной на обязательстве совместного софинансирования со стороны бизнеса и государственных органов;

– «коммерциализация» (Commercialise) – реализация бизнес-участниками новых инновационных и промышленных инвестиционных проектов в развивающихся отраслях.

В рамках программы используется несколько источников финансирования на региональном, национальном и европейском уровнях. Основная часть расходов на проекты финансируется соруководителями пилотных проектов. Кроме того, привлекаются государственные и частные инвестиции в зависимости от конкретных потребностей проекта (Европейский инвестиционный банк / Европейский инвестиционный фонд) [134].

Национальный уровень представлен большим количеством разнообразных программ поддержки передового производства.

Рисунок 35. Обложки стратегических и программных документов разных государств ЕС, в которых зафиксированы меры поддержки передовых производственных технологий

Источник: smartindustry.com; produktion2030.se; dimecc.com [144, 146, 148]

Таблица 11. Некоторые из национальных инициатив Европейского союза в области передового производства

Страна	Год запуска	Название программы поддержки	Описание
Бельгия	2013	Made different	Инициатива была запущена с целью повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности путем поддержки цифровой трансформации производственных процессов. Главная цель инициативы – преобразовать производственные компании в «фабрики будущего». К основным мероприятиям инициативы относится организация просветительских мероприятий,

Страна	Год запуска	Название программы поддержки	Описание
			предоставление специализированных долгосрочных услуг по консультированию компаниям, желающим преобразовать свои производственные процессы. Целевой группой инициативы являются бельгийские компании-производители из всех секторов экономики, а также, в частности, малый и средний бизнес. **Достигнутые результаты:** в программе участвует порядка 265 компаний, из которых 65% - малый и средний бизнес. 16 компаний были награждены знаком «фабрика будущего». **Ожидаемые результаты:** модернизация и цифровизация бельгийской обрабатывающей промышленности; повышение общей конкурентоспособности промышленности [139, 140].
Великобритания	2010	Catapult Centres	Catapult – общее название сети независимых ведущих центров новых технологий и инноваций, призванных быстро трансформировать НИОКР в коммерчески успешные проекты. Каждая из «катапульт» фокусируется на одной из 7 определенных областей технологического развития. Основным направлением деятельности «катапульт» является прототипирование и производство новых продуктов и услуг. **Координатор:** Совет по технологической стратегии (UK Technology Strategy Board, TSB), с 2018 года преобразован в инновационное агентство Innovate UK. **Финансирование:** множественность источников финансирования (госбюджет, промышленность, средства университетов). В отчете за 2017 год отмечается, что с 2010 года центры получили порядка 1,25 млрд фунтов стерлингов, из которых около 745 млн поступили из государственного сектора. В августе 2018 года правительство объявило о выделении финансирования на общую сумму 780 млн фунтов стерлингов нескольким центрам на следующие пять лет. **Достигнутые результаты:** в период 2013–2019 годов установлены 2260 академических коллабораций, 12379 промышленных коллабораций, поддержано 4389 предприятий малого и среднего бизнеса [141].
Германия	2011	Industrie 4.0	Национальная стратегическая инициатива длительностью 10–15 лет, основанная на «Стратегии правительства Германии в области высоких технологий – 2020» (German government's High Tech 2020 Strategy). Инициатива направлена на продвижение цифрового производства с целью повышения производительности, эффективности и гибкости производственных процессов и, следовательно, экономического роста. Основная идея программы: переход от встроенных систем (embedded systems) к киберфизическим системам (cyber-physical systems, CPS) – набору новых технологий, соединяющих виртуальный и физический миры.

Страна	Год запуска	Название программы поддержки	Описание
			Целевыми группами стратегии являются крупные корпорации, владельцы предприятий и, в частности, малый и средний бизнес в разных отраслях промышленности. Усилия представителей государства, бизнес-сообщества, науки и социальной сферы объединяются для реализации целей стратегии. **Координаторы:** Федеральное министерство образования и научных исследований Германии; Федеральное министерство экономики и энергетики Германии. **Финансирование:** 200 млн евро. **Достигнутые результаты:** реализация исследовательской программы, разработка эталонной архитектуры и запуск платформы с 150 участниками. **Ожидаемые результаты:** Boston Consulting Group ожидает, что в течение прогнозного периода выгода от повышения производительности составит около 90–150 млрд евро [142].
Италия	2012	Fabbrica Intelligente (National Technological Intelligent Factories Cluster)	Fabbrica Intelligente – организованное объединение компаний, университетов и других государственных или частных исследовательских институтов, а также организаций, занимающихся инновациями. Миссия объединения состоит в разработке и реализации стратегии, основанной на исследованиях и инновациях и способной трансформировать итальянский производственный сектор в направлении новых продуктов, услуг, процессов и технологий. Кластер также фокусируется на деятельности, связанной с трансфером технологий, обменом знаниями, а также развитием навыков. Целевые группы проекта: организации экосистемы «умных» фабрик, в том числе крупные компании, малый и средний бизнес, университеты, исследовательские центры. **Координаторы:** Министерство просвещения, университетов и научных исследований Италии. **Финансирование:** 45 млн евро (34 млн евро – государственное финансирование, 11 млн – частное). **Достигнутые результаты:** Создание платформы и сообщества производителей, реализация четырех приоритетных исследовательских проектов [143].
Нидерланды	2014	Smart Industry	Цели инициативы состоят в укреплении позиций нидерландской обрабатывающей промышленности и повышении производительности труда. Инициатива выстроена вокруг трех основных направлений деятельности: капитализации существующих знаний, ускорении внедрения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в компаниях и повышении навыков использования ИКТ. Целевой группой инициативы является бизнес-сообщество в целом, особое внимание уделяется высокотехнологичной промышленности, химическому, агропродовольственному и логистическому секторам.

Страна	Год запуска	Название программы поддержки	Описание
			Координаторы: Совет министров Нидерландов. **Финансирование:** порядка 25 млн евро за период 2014–2017 годов (+ 25 млн евро было выделено промышленностью в качестве софинансирования). **Достигнутые результаты:** создание 14 лабораторий по различным направлениям, оборот каждой из которых составляет от 250 тыс. до 4 млн евро в год [144].
Франция	2004	Competitiveness clusters	Инициатива нацелена на продвижение проектов в области инновационных НИОКР, новых продуктов, процессов и услуг путем объединения усилий промышленных компаний, исследовательских центров и образовательных учреждений. **Финансирование:** осуществляется преимущественно Единым межминистерским фондом Франции (Fonds unique interministériel – FUI) и местными властями. Общий объем финансирования в 2005–2015 годах составил 9661 млн евро. **Достигнутые результаты:** В 2014 году в 71 кластере насчитывалось порядка 8500 компаний-членов, а также 1150 государственных исследовательских лабораторий и академических учреждений. В компаниях-членах было занято 1,7 млн человек, что составляло 7% от общей численности рабочей силы коммерческого сектора Франции [145].
Финляндия	2016	DIMECC (Digital, Internet, Materials & Engineering Co-Creation)	DIMECC является ведущей платформой совместного продвижения цифровой трансформации. DIMECC возникла в результате слияния двух Стратегических центров по науке, технологиям и инновациям (Strategic Centres for Science, Technology and Innovation, SHOK): Финского кластера компетенций в области металлов и инженерных технологий (Finnish Metals and Engineering Competence Cluster, FIMECC) и Центра Интернета вещей DIGILE. DIMECC включает три направления работы: программы и проекты (Program & Project Services), совместное создание (Co-creation Services) и сетевые службы (Network Services). Программы и проекты DIMECC совместно создаются и реализуются промышленными компаниями, университетами и исследовательскими институтами. **Координаторы:** FIMECC Ltd, DIGILE Ltd. **Достигнутые результаты:** инновационная платформа и сеть состоят из 2000 специалистов в области НИОКР, 400 организаций, 69 акционеров и 10 организаторов [146, 147].
Швеция	2013	Produktion 2030	Produktion 2030 программа стратегических исследований и инноваций, нацеленная на выведение Швеции в лидеры по инвестициям в устойчивое производство к 2030 году. Программа реализуется в качестве платформы государственно-частного партнерства и инфраструктуры,

Страна	Год запуска	Название программы поддержки	Описание
			основанной на сотрудничестве между промышленностью, научными кругами и исследовательскими ассоциациями. Платформа Produktion 2030 лежит в основе исследовательской программы «Сделано в Швеции – 2030» (Made in Sweden 2030). **Координаторы:** Шведское инновационное агентство VINNOVA, Шведское энергетическое агентство, Шведский исследовательский совет по устойчивому развитию Formas. **Финансирование:** за период 2013–2018 годов 25 млн евро от VINNOVA и дополнительные 25 млн евро от промышленности. **Достигнутые результаты:** профинансировано 30 проектов, задействовано более 150 предприятий, создана аспирантура [148].

Программы поддержки ППТ в КНР

КНР широко известна не только как мировой центр производства в целом, но и как центр производства компонентов и продуктов для многонациональных высокотехнологичных компаний, таких, например, как IBM, Apple, Honda Motors. Исторически промышленное производство представляет крупнейший сектор по вкладу в валовую добавленную стоимость (ВДС) Китая. По оценкам консалтинговой компании PricewaterhouseCoopers (PwC), 32,5% ВДС пришлось на промышленное производство в 2010 году, 30,2% – в 2017 году. PwC ожидает, что среднегодовые темпы роста добавленной стоимости в обрабатывающих производствах в краткосрочной перспективе увеличатся с 7% в период 2012–2017 годов до 7,7% в период 2017–2022 годов. PwC прогнозирует, что к 2022 году добавленная стоимость в обрабатывающих производствах Китая достигнет $ 5,21 трлн при среднегодовых темпах ее роста 6,2% [149].

В 2019 году PwC было отмечено снижение индекса деловой активности (Purchasing Managers' Index, PMI) производственного сектора в Китае. В краткосрочной перспективе PwC ожидает, что в Китае непроизводственные сектора экономики превзойдут экспортно зависимое промышленное производство. В более долгосрочной перспективе прогнозируется, что в производственном секторе произойдет структурный сдвиг в сторону передового производства [149].

По оценкам правительства Китая, технологии Индустрии 4.0 будут способствовать повышению производительности на 25–30% и снижению непредвиденных производственных потерь на 60%. Крупнейшее немецкое аналитическое агентство MERICS, специализирующееся исключительно на исследовании Китая, в 2017 году отмечало, что в Китае наступает новая эра производства: инвестиции в автоматизацию и цифровизацию стремительно растут. Инвестиции в IT-технологии в промышленном производстве с 2005 года увеличились в два раза. Кроме того, Китай стал крупнейшим в мире рынком промышленных роботов [150].

Развитие передовых производственных технологий в Китае во многом связано со всесторонней поддержкой со стороны правительства [149, 150].

Одним из первых ключевых этапов на пути модернизации китайской промышленности стало вступление Китая во Всемирную торговую организацию (ВТО; World Trade Organization, WTO) в 2001 году и, как следствие, принятие обязательств по снижению уровня протекционизма и

введению недискриминационного экономического режима в отношении других членов организации. Данные меры способствовали созданию более благоприятных условий для внешней торговли и инвестиций, а также развитию промышленности Китая в направлении интеграции в мировую экономику [149].

В 2007 году Министерством промышленности и информационных технологий Китайской Народной Республики (Ministry of Industry and Information Technology, MIIT) была разработана стратегия цифровизации промышленности «Интеграция индустриализации и информатизации» (Integration of Industrialization and Informatization), известная также под названием «3i». Стратегия «3i», нацеленная на поддержку цифровизации производственных технологий, стала первым шагом на пути к «Индустрии 4.0.». Посредством стратегии Министерство стимулировало преобразование и модернизацию промышленности с помощью тщательно разработанных программ поддержки, связанных с Интернетом вещей (Internet of Things, IoT), роботами, интеллектуальными производственными системами (Intelligent manufacturing systems, IMS) и облачными вычислениями (Cloud computing) [150].

В октябре 2010 года Государственным советом Китайской Народной Республики была анонсирована инициатива по ускорению развития новых стратегических отраслей / индустрий (Decision to Accelerate the Development of Strategic Emerging Industries), в число которых вошли: 1) отрасль энергосбережения и защиты окружающей среды; 2) IT-индустрия нового поколения; 3) биоиндустрия (биофармацевтика, биомедицинская инженерия, производство биоматериалов и др.); 4) производство высокотехнологичных машин и оборудования; 5) новая энергетика (новое поколение АЭС, солнечная и ветряная энергетика, «умные» сети и др.); 6) производство новых материалов; 7) производство автомобилей, работающих на новых источниках энергии. Данные отрасли были определены правительством Китая как обладающие потенциалом «революционных прорывов». По состоянию на 2010 год на долю обозначенных отраслей приходилось всего 3% ВВП Китая; согласно инициативе, к 2015 году доля отраслей в ВВП страны должна была увеличиться до 8%, к 2020 году – до 15%. Выделенные стратегические инициативы во многом пересекались с шестнадцатью «мегапроектами», разработанными в рамках Средне- и долгосрочного плана развития науки и технологий Китая (Medium and Long-term Plan (MLP) for Science and Technology) 2006–2020 годов. Однако принципиальным отличием инициативы 2010 года был акцент на развитии передовых производственных технологий, которое планировалось осуществлять не только посредством прямого финансирования отраслей, но и проведения соответствующей государственной политики [151, 152].

С 2010 года при правительственной поддержке в Китае началась активная реализация плана по строительству «умных» городов («Smart city») с использованием передовых производственных технологий. К 2012 году к программе присоединились более 180 городов, а объем инвестиций на развитие инфраструктуры, основанной на коммуникационных сетях и платформах анализа и обработки данных (data platform), достиг 500 млрд юаней. В 2010 году в Шанхае открылся первый Центр Интернета вещей (Internet of Things Center) [153, 154, 155].

В 2013 году Китаем была запущена инициатива «Один пояс, один путь» (Belt and Road Initiative, BRI), направленная на расширение связей между Азией, Европой и Африкой и стимулирование экономических потоков между Китаем и 65 странами, на которые приходилось порядка 30% мирового ВВП, усиление рыночной интеграции данных стран, а также укрепления торговых и инвестиционных связей. В контексте развития передовых производственных технологий обмен опытом в рамках данной инициативы позволил сократить технологическое отставание Китая от западных стран [149, 156].

Рисунок 36. География инициативы «Один пояс, один путь»

Источник: ТАСС [157]

Важным событием 2013 года стала инициатива по созданию экспериментальной производственной модели «умной» фабрики «Smart Factory 1.0», запуск которой был анонсирован Китайским альянсом научно-технической автоматизации (China Science & Technology Automation Alliance) на Пекинской выставке промышленной автоматизации (Industrial Automation Beijing 2013 exhibition). Smart Factory 1.0 была разработана в качестве модели для реализации возможностей накопления и анализа больших данных и достижения горизонтальной и вертикальной интеграции в течение жизненного цикла с целью создания киберфизической системы. Фокус Smart Factory 1.0 был сосредоточен не на передовых производственных технологиях, а на применении уже существующих в соответствии с потребностями промышленности [149, 158].

В 2013–2014 годах правительство Китая оказывало значительную финансовую поддержку внедрению и расширению применения IT-технологий. За данный период Министерством промышленности и информационных технологий было осуществлено финансирование 720 пилотных компаний в различных городах и провинциях Китая. В 2014 году Министерству промышленности удалось объединить 14 государственных ассоциаций из различных отраслей промышленности и создать единый стандарт управления качеством автоматизированного и интеллектуального производства [150].

В октябре 2014 года состоялись третьи китайско-германские межправительственные консультации (Sino-German intergovernmental consultations), которые были посвящены, в первую очередь, вопросам сотрудничества Федерального министерства экономики и энергетики Германии (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi) и Министерства промышленности и информационных технологий Китая в рамках инновационного развития. Научно-технологическое сотрудничество с Германией как ведущим поставщиком технологических решений стало для Китая драйвером развития в области передовых производственных технологий [150, 153].

В 2015 году в Китае была запущена еще одна инициатива, связанная с передовыми производственными технологиями: стратегия «Интернет плюс» (Internet Plus). Впервые стратегия была предложена премьер-министром Ли Кэцяном в отчете о работе правительства на заседании Всекитайского собрания народных представителей в марте 2015 года. Стратегия нацелена на расширение возможностей традиционных отраслей промышленности посредством внедрения в них Интернета и информационных технологий. В результате достижения целей, поставленных стратегией, должно произойти объединение мобильного Интернета, облачных вычислений (Cloud computing), больших данных (Big Data) и Интернета вещей (Internet of Things, IoT) с современным производством, которое, в свою очередь, поспособствует развитию электронной коммерции (e-commerce), промышленных сетей для передачи данных (industrial networks), а также поможет китайским интернет-компаниям расширить международное присутствие [149, 159].

Ключевой на сегодняшний день инициативой в области передовых производственных технологий Китая является стратегический план «Сделано в Китае – 2025» (Made in China 2025), принятый в мае 2015 года. Инициатива нацелена на модернизацию промышленности Китая с целью повышения её эффективности, а также усиления самодостаточности китайских компаний в конкурентной борьбе на мировом рынке [149].

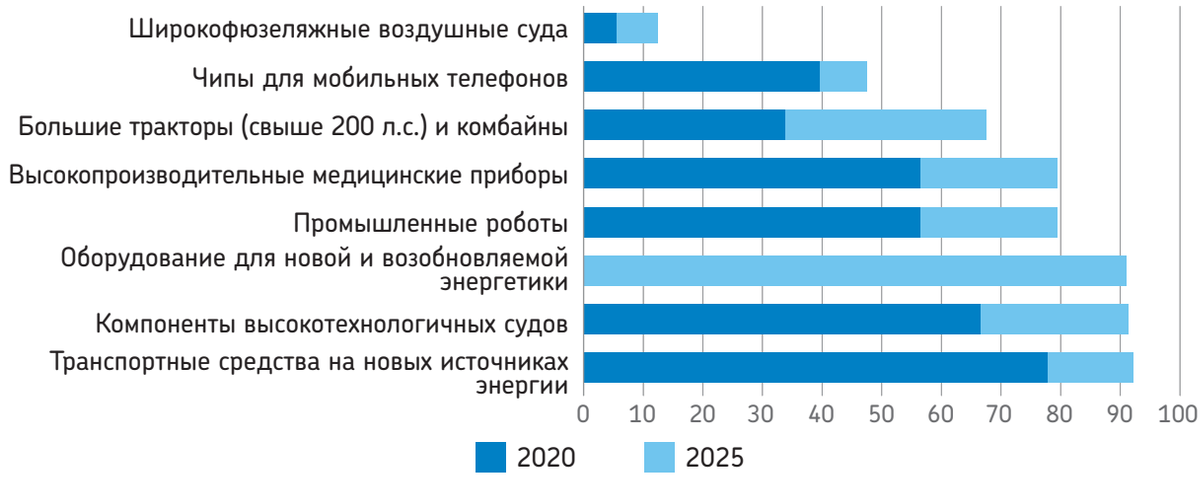
План имеет пять основных направлений: 1) инновационное развитие; 2) акцент на качестве, а не на количестве; 3) экологическое развитие; 4) оптимизация структуры китайской промышленности; 5) ориентация на таланты. Основным направлением является развитие инноваций. В основу инициативы положены четыре принципа: 1) принцип сочетания рыночной ориентации с государственным управлением; 2) принцип долгосрочной перспективы, основанной на настоящем; 3) принцип сочетания всестороннего продвижения вперед с прорывом в ключевых областях; 4) принцип независимого развития и взаимовыгодного сотрудничества [159].

Ключевыми проектами, которые реализуются в рамках инициативы, являются: 1) строительство национального производственного инновационного центра; 2) «умное» производство; 3) укрепление промышленной базы; 4) экологичное производство; 5) инновации в области производства высокотехнологичных машин и оборудования [159].

В список десяти ключевых секторов стратегического плана входят:

1. Новые информационно-коммуникационные технологии.
2. Усовершенствованные станки с числовым программным управлением и робототехника.
3. Авиакосмическое оборудование.
4. Морская техника и высокотехнологичное судостроение.
5. Усовершенствованная железнодорожная техника.
6. Энергосберегающие транспортные средства и транспортные средства на новых источниках энергии.
7. Новые материалы.
8. Энергетическое оборудование.
9. Сельскохозяйственная техника.
10. Биофармацевтические препараты и высокопроизводительное медицинское оборудование [159].

Рисунок 37. Целевые показатели доли китайских товаров на внутреннем рынке в соответствии со стратегическим планом «Сделано в Китае – 2025» (%)



Источник: «Сделано в Китае 2025. Становление высокотехнологичной сверхдержавы и последствия для индустриальных стран», MERICS, 2016 [99]

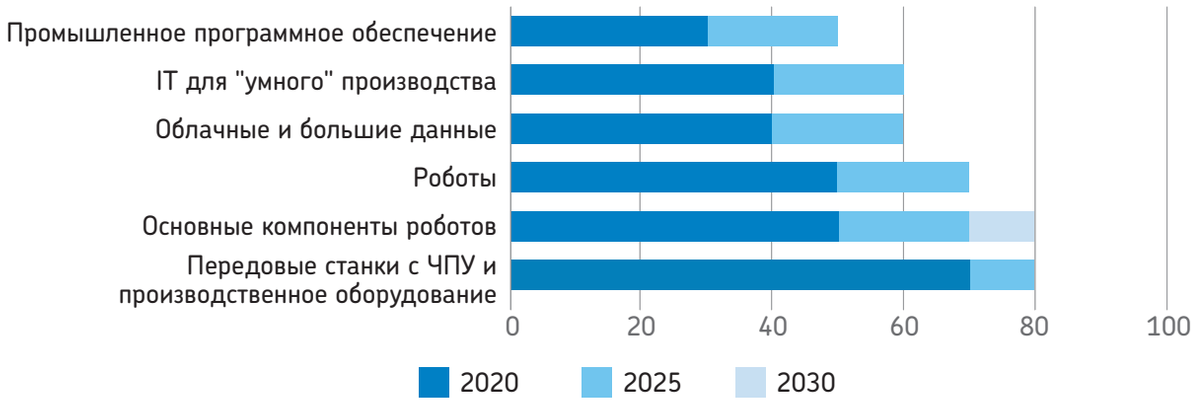
Таблица 12. Основные целевые показатели стратегического плана «Сделано в Китае – 2025»

Индикатор	**2013**	**2015**	**2020**	**2025**
Инновации				
Доля расходов на НИОКР от операционной выручки (%)	0,88	0,95	1,26	1,68
Патенты на изобретения на каждые 100 млн юаней общей выручки	0,36	0,44	0,7	1,1
Качество				
Индекс конкурентоспособности качества	83,1	83,5	84,5	85,5
Рост добавленной стоимости в промышленности (%)	9,7	5,9	7,9	9,9
Рост производительности (% среднегодовой)	7,3	6,6	7,5	6,5
Цифровизация промышленности				
Широкополосный Интернет (проникновение в %)	37	50	70	82
Использование программных систем цифрового проектирования при осуществлении НИОКР (проникновение в %)	52	58	72	84
Использование станков с числовым программным управлением в ключевых производственных процессах (проникновение в %)	27	33	50	64
Защита окружающей среды				
Снижение энергоемкости промышленности (% к 2015 году)	–	–	-18	-34
Снижение интенсивности выбросов углекислого газа (% к 2015 году)	–	–	-22	-40
Снижение водоемкости (% к 2015 году)	–	–	-23	-41
Повторное использование твердых промышленных отходов (% от общих отходов)	62	65	73	79

Источник: «Сделано в Китае 2025. Становление высокотехнологичной сверхдержавы и последствия для индустриальных стран», MERICS, 2016 [99]

Важно отметить, что инициатива «Сделано в Китае – 2025» является первым шагом трехэтапной стратегии превращения Китая в сильную инновационную страну с развитым передовым производством к 2049 году. Согласно стратегии, передовые инновационные страны мира распределены по трем уровням. На первом, наивысшем уровне, находятся США как наиболее мощная в производственном плане страна; на втором уровне – Германия и Япония, на третьем – Великобритания, Франция, Республика Корея и Китай. Достижение целевых показателей плана «Сделано в Китае – 2025» должно вывести Китай на второй уровень. Реализация целей второго этапа общей стратегии развития к 2035 году должна сформировать в Китае потенциал для конкурирования с развитыми производственными странами второго уровня, такими как Германия и Япония. К 2049 году – столетию со дня основания Китайской Народной Республики – Китай должен выйти на первый уровень, сравнявшись по производственным мощностям с США [159].

Рисунок 38. Целевые показатели доли различных китайских товаров, полученных с применением технологий «умного» производства, на внутреннем рынке (%)



Источник: «Сделано в Китае 2025. Становление высокотехнологичной сверхдержавы и последствия для индустриальных стран», MERICS, 2016 [99]

Общая цель стратегии 2049 – сделать Китай мировым лидером в области науки и технологий» – была обозначена в Средне- и долгосрочном плане развития науки и технологий Китая 2006–2020 годов [150]. Цели и задачи, меры поддержки инициатив в краткосрочной перспективе определяются Пятилетними планами (The Five Year Plan, FYP) экономического и социального развития Китая. Инициатива «Сделано в Китае – 2025» на современном этапе регламентирована 13-м Пятилетним планом (13th Five-Year Plan) 2016–2020 годов [160], следующий этап развития будет определяться 14-м Пятилетним планом 2021–2025 годов (14th Five-Year Plan), в настоящее время находящемся в разработке.

Правительство Китая оказывает значительную финансовую поддержку инициативе «Сделано в Китае – 2025». В 2016 году Китайский банк развития (China Development Bank) объявил о выделении на инициативу $ 44,8 млрд в рамках 13-го Пятилетнего плана. Кроме того, правительством Китая были созданы Национальный фонд инвестиций в производство интегральных микросхем (National Integrated Circuit Industry Investment Fund) в размере $ 20 млрд, Национальный фонд передового производства (National Advanced Manufacturing Fund) – $ 3 млрд и Национальный фонд управления инвестициями в развивающиеся отрасли (National Emerging Industry Investment Guidance Fund) – $ 6 млрд [161].

Программы поддержки ППТ в России

В ответ на вызовы новой реальности в экономике в целом и в промышленности в частности в России были инициированы следующие программы:

- Национальная технологическая инициатива (НТИ) [162], о начале реализации которой было объявлено в декабре 2014 года;
- Стратегия научно-технологического развития (далее – СНТР) [163], утвержденная в декабре 2016 года;
- Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [164], паспорт которой был утвержден в июне 2019 года.

Подробнее данные программы и механизмы их реализации будут рассмотрены далее, в том числе на примере участия в них СПбПУ.

Национальная технологическая инициатива – это программа мер по формированию принципиально новых рынков и созданию условий для глобального технологического лидерства страны к 2035 году, которую в Послании Федеральному Собранию 4 декабря 2014 года предложил запустить Президент Российской Федерации В.В. Путин.

В рамках НТИ были определены критерии выбора приоритетных рынков, которые сегодня не существуют и которые возникнут в ближайшие 20 лет:

- ориентированность на потребности людей, а не бизнеса (Business-to-Consumer, B2C);
- потенциальный объем новых рынков к 2035 году – не менее $ 100 млрд, отсутствие общепринятых или устоявшихся технологических стандартов;
- сетевой принцип организации, когда те или иные посредники заменяются на управляющее программное обеспечение (отсюда добавление окончания «- нет» к названиям отобранных рынков);
- важность для России с точки зрения обеспечения базовых потребностей и безопасности;
- наличие условий в стране для достижения конкурентных преимуществ и занятия значимой доли рынка (в том числе наличие технологических предпринимателей с амбициями создать компании-лидеры на новом высокотехнологичном рынке) [162].

По итогам стратегической сессии «Форсайт-флот»[7], состоявшейся в мае 2015 года, были определены 9 перспективных рынков, соответствующих критериям: «Аэронет», «Автонет», «Маринет», «Нейронет», «Хелснет», «Фуднет», «Энерджинет», «Технет» и «Сейфнет». По каждому из рынков были разработаны дорожные карты, 7 из них были одобрены президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России. По направлениям «Фуднет» и «Сейфнет» в настоящий момент ведется разработка концепций «дорожных карт» (1 декабря 2020 года рабочая группа «Фуднет» успешно защитила концепцию ДК перед экспертной комиссией, состоящей из представителей институтов развития, профильных министерств, крупного бизнеса, образовательных и научных организаций).

Дорожные карты представляют собой документы стратегического планирования, содержащие комплекс мероприятий, взаимоувязанных по задачам, срокам осуществления, исполнителям и ресурсам. К основным направлениям планов мероприятий дорожных карт относятся:

---

7 В мае 2015 года, после официального запуска НТИ, состоялось ежегодное мероприятие АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов» «Форсайт-Флот – 2015», в котором приняли участие свыше 600 человек – технологических предпринимателей, венчурных инвесторов, ученых, представителей образовательной среды и институтов развития, деловых и общественных объединений, лидеров предприятий реального сектора экономики, федеральных органов исполнительной власти. По итогам «Форсайт-Флота – 2015» были сформированы рабочие группы по созданию и развитию 9 рынков будущего.

– создание, развитие и продвижение передовых технологий, продуктов и услуг, обеспечивающих приоритетные позиции российских компаний на формируемых глобальных рынках;

– поэтапное совершенствование нормативной правовой базы в целях устранения барьеров для использования передовых технологических решений и создания системы стимулов для их внедрения;

– совершенствование системы образования для обеспечения перспективных кадровых потребностей динамично развивающихся компаний, научных и творческих коллективов, участвующих в создании новых глобальных рынков;

– развитие системы профессиональных сообществ и популяризация НТИ;

– организационно-техническая и экспертно-аналитическая поддержка, информационное обеспечение НТИ [165].

Для поддержки проектов, соответствующих дорожным картам НТИ, существуют как финансовые меры (субсидии, гранты, вклады в НКО, венчурная поддержка), так и административные меры поддержки (преодоление барьеров, PR, маркетинговая поддержка).

Позднее на основе разделов дорожных карт, посвященных совершенствованию нормативной правовой базы, были сформированы 7 отдельных дорожных карт по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации плана мероприятий («дорожной карты») НТИ по каждому направлению[8].

Нормативные дорожные карты включают мероприятия по подготовке и заключению международных договоров, подготовке и принятию нормативных правовых актов, документов по стандартизации, документов стратегического планирования и других документов, необходимых для реализации планов мероприятий Национальной технологической инициативы, направленных:

а) на устранение существующих административных барьеров (в том числе пробелов в необходимом правовом или техническом регулировании, правовой неопределенности) для вывода на рынок передовых технологий, товаров и услуг, обеспечивающих приоритетные позиции российских организаций на формируемых глобальных рынках;

б) на создание условий и стимулов для продвижения на формируемые глобальные рынки передовых технологий, товаров и услуг российских организаций, являющихся участниками проектов НТИ, в том числе путем внесения изменений в действующие документы по стандартизации и принятия новых документов по стандартизации;

в) на создание системы стимулов для внедрения и использования передовых технологических решений, полной или частичной замены устаревших технологий, в том числе путем введения поэтапных законодательных запретов, ограничивающих применение устаревших технологий, модернизации механизмов правовой охраны и управления результатами интеллектуальной деятельности, создаваемыми организациями, являющимися участниками проектов НТИ;

г) на решение других вопросов, связанных с реализацией дорожных карт и планов мероприятий НТИ [166].

8 В 2017 году постановлением Правительства Российской Федерации от 29 сентября 2017 г. № 1184 утверждено Положение о разработке и реализации планов мероприятий («дорожных карт») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации НТИ. В 2017 году 7 рабочих групп по направлениям НТИ «Автонет», «Аэронет», «Маринет», «Нейронет», «Технет», «Хелснет» и «Энерджинет» при поддержке АО «РВК» разработали проекты соответствующих «дорожных карт», которые в 2018 году были приняты Правительством РФ.

Ключевым элементом реализации инициативы является матрица НТИ, определяющая логику формирования взаимодействия между всеми ее участниками. На одной из осей матрицы, представлены рынки, сформированные в рамках Форсайт-флота (2015 г.). Развитие новых рынков и появление на них конкурентоспособных высокотехнологичных компаний во многом обусловлено формированием в стране научно-технологического задела по ключевым технологиям НТИ, подготовкой талантливых технических специалистов и предпринимателей, а также скоординированной работой государственных структур всех уровней. Учитывая это, в матрице НТИ были определены следующие ключевые координатные оси: рынки, технологии, таланты и сервисы [167]. В матрице 2018 года данные группы были уточнены и зафиксированы как: рынки и ставки, технологии и барьеры, таланты и предприниматели, сервисы и сообщества.

В рамках матрицы рассматриваются «сквозные» технологии – перспективные технологии, радикально меняющие ситуацию на существующих рынках или способствующие формированию новых рынков. Такие технологии имеют ключевое значение для развития сразу нескольких перспективных рынков. Понятие «сквозных» технологий стало набирать популярность среди российских специалистов в области научно-технологического развития одновременно с началом распространения основных ценностей и базовых положений Национальной технологической инициативы.

В декабре 2016 года Президент РФ В.В. Путин в послании Федеральному Собранию упомянул о «сквозных» технологиях как об одном из приоритетов научно-технологического развития страны. В 2017 году задачи по развитию «сквозных» технологий, перечень которых был согласован с федеральными органами власти, академией наук и экспертным сообществом, стали существенной частью Плана реализации НТИ (утвержден в феврале 2017 года президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России) и программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (утверждена Правительством РФ, распоряжение от 28 июля 2017 года № 1632-р) [168].

В течение нескольких лет перечень технологий изменялся (см. различные варианты представления матрицы в приложении 2). Но передовые производственные технологии (новые производственные технологии) как комплекс или перечень отдельных ключевых технологий всегда были отражены в матрице НТИ.

В настоящий момент представлен следующий перечень «сквозных» технологий:

- Большие данные;
- Искусственный интеллект;
- Системы распределенного реестра;
- Квантовые технологии;
- Новые и портативные источники энергии;
- Новые производственные технологии;
- Сенсорика и компоненты робототехники;
- Технологии беспроводной связи;
- Технологии управления свойствами биологических объектов;
- Нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей.

Таблица 13. Приоритетные группы технологий, представленные в матрице Национальной технологической инициативы в разные периоды времени

Технологии матрицы НТИ (май 2015 г.)	Технологии матрицы НТИ (май 2016 г.)	Технологии матрицы НТИ (июнь 2016 г.)	Технологии матрицы НТИ (ноябрь 2018 г.)
Цифровое моделирование; Новые материалы; Аддитивные технологии; Квантовые коммуникации; Сенсорика; Мехабиотроника; Бионика; Геномика, синтетическая биология; Нейротехнологии; Big Data; Индустриальный Интернет, системы управления; Новые источники энергии; Элементная база	Базовый технологический пакет: • Большие данные; Искусственный интеллект; • Системы распределенного реестра; Квантовые технологии; Новые портативные источники энергии; Новые производственные технологии; Сенсорика и компоненты робототехники; Технологии беспроводной связи; Технологии управления свойствами биологических объектов; Нейротехнологии и технологии виртуальной и дополненной реальностей	Базовый технологический пакет: • Большие данные; • Искусственный интеллект; • Системы распределенного реестра; «Туманные технологии»: • Квантовые технологии; • Новые портативные источники энергии; • Новые производственные технологии; • Сенсорика и компоненты робототехники; • Технологии беспроводной связи Технологии управления свойствами биологических объектов; Нейротехнологии и технологии виртуальной и дополненной реальностей	Базовый технологический пакет 1-й волны: • Большие данные; • Искусственный интеллект; • Распределенные реестры; • Беспроводная связь; Базовый технологический пакет 2-й волны: • Мобильные источники энергии; • Производственные технологии; • Новые материалы; • Сенсорика; Базовый технологический пакет 3-й волны: • Квантовые технологии; • Фотоника; • Нейротехнологии; • Генетика, биотехнологии

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам открытых источников

С целью создания инновационных решений в области «сквозных» технологий, обеспечивающих глобальное лидерство компаниям, которые используют данные технологии для производства продуктов и услуг, была сформирована сеть Центров компетенций НТИ (далее – ЦНТИ). Центры представляют собой инженерно-образовательные консорциумы. В соответствии с национальным проектом «Наука», центры формируются на базе университетов и научных организаций. Их исследовательская и образовательная деятельность осуществляется в консорциуме с ведущими технологическими компаниями. Задачами ЦНТИ являются трансляция результатов фундаментальных исследований в инженерные приложения, технологический трансфер через кооперацию с индустриальными партнерами, а также подготовка лидеров разработки новых технологий посредством реализации образовательных программ [169]. Отбор и поддержка ЦНТИ предусмотрены Постановлением Правительства Российской Федерации от 16 октября 2017 года № 1251. Один из таких центров создан на базе СПбПУ – Центр компетенций Национальной технологической инициативы по направлению «Новые

производственные технологии». Реализация механизма поддержки через центры НТИ будет рассмотрена далее на примере Центра НТИ СПбПУ.

Также поддержка осуществляется в рамках технологических конкурсов UpGreat, направленных на поиск инновационных решений (по итогам соревнования участники представляют свои прототипы) для преодоления технологических барьеров. Перечень технологических барьеров включает научно-технологические задачи и направления прикладного характера, подготовленные экспертами рабочих групп НТИ [170].

Грантовую поддержку технологических проектов НТИ оказывает Фонд содействия инновациям (ФСИ) в рамках конкурса «Развитие-НТИ» (ориентируется на компании, уже имеющие опыт разработки и продаж собственной наукоемкой продукции и планирующие разработку и освоение новых видов продукции). Конкурс проводится на основе перечня приоритетных тематических направлений, сформулированных совместно с рабочими группами НТИ по каждой дорожной карте с учетом технологических барьеров, преодоление которых необходимо для достижения целей дорожной карты. Также Фонд осуществляет поддержку существующих малых инновационных предприятий в рамках программы «Старт-НТИ» и научно-технических проектов молодых исследователей в рамках программы «Умник» [171].

Кроме того, технологические компании могут получить грантовое и инвестиционное финансирование до 500 млн руб. в рамках поддержки, выделяемой институтами развития (Агентством стратегических инициатив, РВК, Сколково, ФСИ, ВЭБ и т. п.) и субсидирование проектов, согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2016 года № 317 «О реализации Национальной технологической инициативы» [170].

Как отмечается на сайте проектного офиса НТИ, которым с 2015 года является АО «РВК», по итогам 2019 года поддержку НТИ в общем объеме финансирования 9,7 млрд руб. получили 59 высокотехнологичных проектов; более 30% составило инвестиционное финансирование [172]. За все годы реализации инициативы более 1 000 проектов получили финансовую, экспертную или административную поддержку НТИ. С целью развития рынков НТИ, было запущено 7 венчурных фондов с участием АО «РВК», сфокусированных на развитии рынков и «сквозных» технологии НТИ [173].

В 2020 году начата работа по перезапуску и усилению НТИ. В рамках НТИ 2.0 ведется активная совместная работа представителей бизнеса и экспертных сообществ для обновления общего видения новых рынков, поиска путей развития и механизмов их запуска, новых моделей получения прибыли. Кроме того, предполагается увеличение вовлеченности регионов и научно-образовательной среды, развитие экспортной поддержки компаний и проектов [174]. Рабочие группы 7 рынков НТИ, дорожные карты которых были утверждены ранее, продолжили работу и обновили свои дорожные карты. Проекты документов направлены для согласования в проектный офис Национальной технологической инициативы, а также в профильные министерства и другие заинтересованные федеральные органы исполнительной власти.

Развитие передовых производственных технологий в рамках Национальной технологической инициативы

С мая 2015 года СПбПУ является лидером и драйвером направления «Технет» Национальной технологической инициативы. Это первое кросс-рыночное направление, обеспечивающее технологическую поддержку развития рынков НТИ за счет комплексирования различных технологий мирового уровня, которое нацелено на развитие и применение одного из самых важных классов «сквозных» технологий – передовых производственных технологий (Advanced Manufacturing Technologies). Лидером (соруководителем) рабочей группы «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ утвержден проректор по перспективным проектам СПбПУ А.И. Боровков, а соруководителем со стороны профильного ответственного федераль-

ного органа исполнительной власти – заместитель Министра промышленности и торговли РФ В.С. Осьмаков [175].

Дорожная карта «Технет» (передовые производственные технологии) охватывает такие передовые производственные технологии, как цифровое проектирование и моделирование, новые материалы, аддитивные и гибридные технологии, робототехнику, промышленную сенсорику, индустриальный Интернет, большие данные (Big Data), информационные системы управления производством и предприятием, технологии виртуальной и дополненной реальности, искусственный интеллект. С точки зрения Василия Осьмакова, направление «Технет» в значительной степени представляет собой российский аналог знаменитой немецкой программы Industrie 4.0 [176].

14 февраля 2017 года на заседании президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России под председательством Д.А. Медведева дорожная карта «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ была одобрена.

В соответствии с одобренным документом [177], основными целями дорожной карты являются:

1. Формирование комплекса ключевых компетенций в Российской Федерации, обеспечивающих интеграцию передовых производственных технологий и бизнес-моделей для их распространения в качестве «Фабрик Будущего» первого и последующего поколений.

2. Создание глобально конкурентоспособной кастомизированной / персонализированной продукции нового поколения для рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности.

ДК «Технет» призвана обеспечить удовлетворение спроса технологических потребностей рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности на передовые производственные технологии и модели их внедрения.

С июля 2016 года СПбПУ реализует мегапроект «Фабрики Будущего», нацеленный на развитие и повышение конкурентоспособности отечественной высокотехнологичной промышленности за счет решения инженерно-технологических проблем-вызовов государственного значения, которые не удается решить высокотехнологичным предприятиям с помощью традиционных подходов. Мегапроект «Фабрики Будущего» был одобрен на расширенном заседании Наблюдательного совета АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов», состоявшемся 21 июля 2016 года под председательством Президента Российской Федерации В.В. Путина и получил поддержку АСИ в части организации сетевого взаимодействия с индустриальными партнерами.

По результатам заседания Инжиниринговый центр СПбПУ и ГК CompMechLab® совместно с Минпромторгом России и высокотехнологичными корпорациями / компаниями из различных отраслей высокотехнологичной промышленности ведет постоянную работу по формированию, сопровождению и развитию Фабрик Будущего.

После одобрения ДК «Технет» в феврале 2017 года в соответствии с установленной в НТИ процедурой началась активная работа по рассмотрению рабочей группой проектов Национальной технологической инициативы, понимаемых как «система взаимосвязанных мероприятий, направленных на реализацию направлений «дорожных карт», а также на достижение целей, целевых значений показателей и значимых контрольных результатов реализации «дорожных карт» [178].

За период с марта 2017 по ноябрь 2020 года РГ «Технет» рассмотрела более 90 проектов, 25 из них получили поддержку рабочей группы и были рекомендованы к дальнейшей реализа-

ции и возможному финансированию в рамках Постановления Правительства РФ от 18 апреля 2016 года № 317 «О реализации Национальной технологической инициативы».

Поддержка проектов также осуществлялась в рамках деятельности Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. В 2017–2019 годах ФСИ провел конкурсы «Развитие-НТИ», «Старт-НТИ» и «Умник», направленные на поддержку реализации дорожных карт НТИ, в том числе ДК «Технет». В рамках конкурса «Развитие-НТИ» по лоту «Технет» было профинансировано 64 проекта из 410 заявок на общую сумму 1,13 млрд рублей (в 2020 году 11 проектов вошли в список победителей и рекомендованы к финансированию). В рамках конкурса «Умник-Технет» в 2017–2019 годах было подано 760 заявок, из которых 109 поддержаны Фондом и рекомендованы к финансированию. На конкурс «Старт-Технет» в 2018 году было подано 47 заявок, из которых 9 были поддержаны Фондом, в 2020 году 12 проектов вошли в список победителей и рекомендованы к финансированию.

Значимые результаты были достигнуты в части комплекса мероприятий ДК «Технет» по совершенствованию нормативной правовой базы в целях устранения барьеров для использования передовых технологических решений и создания системы стимулов для их внедрения. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 29 сентября 2017 года № 1184, 23 марта 2018 года была утверждена дорожная карта по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Технет» (далее – нормативная ДК «Технет», ДК «Технет»). Руководителем рабочей группы по ее разработке и реализации стал вице-президент по стратегии и связям с индустрией Сколковского института науки и технологий А.К. Пономарев.

Целями реализации ДК являются устранение или снижение предусматриваемых законодательством РФ и документами по стандартизации административных барьеров, ограничивающих применение и распространение передовых производственных технологий в России, а также совершенствование законодательства РФ, направленное на создание, развитие и продвижение передовых технологий. Мероприятия, предусмотренные дорожной картой, разделены на три этапа, с указанием конкретных нормативных правовых актов и документов по стандартизации, которые необходимо принять в установленном законом порядке или в которые необходимо внести изменения, ожидаемых результатов, сроков и исполнителей мероприятий [179].

В 2019 году успешно завершился первый этап реализации ДК «Технет», включивший 19 мероприятий, в том числе 17 мероприятий по разработке нормативных правовых актов и 2 – по мониторингу и актуализации нормативной дорожной карты. Кроме того, в начале 2019 года Минпромторг России и Росстандарт утвердили Перспективный план стандартизации НТИ в области передовых производственных технологий на 2018–2025 годы [180].

Актуализированная дорожная карта была принята в мае 2020 года (распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 мая 2020 г. № 1420-р были утверждены изменения дорожной карты по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы (НТИ) по направлению «Технет» (передовые производственные технологии). Согласно обновленному документу до 2023 года предполагается реализация 23 мероприятий.

Руководитель рабочей группы по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях реализации плана мероприятий («дорожной карты») НТИ «Технет» А.К. Пономарев отметил: «Помимо сугубо формальных требований о необходимости периодического обновления дорожных карт, в ходе первого этапа реализации дорожной карты обновилась повестка, стало понятно, что какие-то задачи не требуют изменений законодательства, а какие-то решаются в рамках других законодательных инициатив. Также стало

понятно, что ключевые проблемы в нашей сфере связаны в большей степени с вопросами нормативно-технического регулирования, поэтому в новой версии основное внимание будет уделяться стандартам. Другой урок заключается в том, что сложно заниматься абстрактными производственными технологиями в целом – они всегда (даже если речь идет о конструкторских задачах или автоматизации) имеют отраслевую специфику – поэтому мы фокусируемся на наиболее востребованных направлениях, в частности, на различных применениях композиционных материалов. Таким образом, стандарты в области инженерного проектирования и композитов – в центре нашего внимания на ближайшие три года. Еще раз подчеркну, что процесс обновления дорожных карт не останавливается с принятием того или иного изменения. <...> Новая поствирусная реальность, вероятно, поставит новые вопросы и в нашей сфере, так что следующий проект собираемся подготовить уже в начале 2021 года».

В рамках комплекса мероприятий ДК «Технет» по организационно-технической и экспертно-аналитической поддержке, информационному обеспечению Национальной технологической инициативы в мае 2018 года была создана Ассоциация разработчиков и эксплуатантов передовых производственных технологий – Ассоциация «Технет».

Ассоциация «Технет» является объединением научных, образовательных и промышленных организаций и их представителей, осуществляющих исследования, разработку, производство и эксплуатацию технологических решений в сфере передовых производственных технологий, с целью обеспечения конкурентоспособности отечественных компаний-лидеров на глобальных рынках и в высокотехнологичных отраслях промышленности (в первую очередь технологий цифрового проектирования и моделирования, аддитивных технологий, новых материалов, сенсорики, передовой робототехники, индустриального Интернета, Big Data, CNC-технологий). Учредителями Ассоциации выступили лидеры рабочей группы «Технет» [181].

В октябре 2018 года по итогам конкурсного отбора для финансового обеспечения реализации некоммерческими организациями, осуществляющими функции инфраструктурных центров, программ по развитию отдельных направлений Национальной технологической инициативы Ассоциация «Технет» была признана победителем и наделена функциями Инфраструктурного центра по направлению НТИ, обеспечивающего реализацию ДК «Технет» [182, 183]. Центр осуществляет экспертно-аналитическую поддержку рабочей группы, ведет работу по популяризации передовых производственных технологий и расширению кооперации профессионального сообщества, формирует рекомендации в сфере административно-правового регулирования, осуществляет координационную функцию.

Одной из стратегических задач Ассоциации «Технет» является поиск относительно небольших и малоизвестных предприятий, но при этом занимающих лидирующие позиции на мировых рынках в своем сегменте и активно внедряющих инновации, устойчивых к экономическим кризисам за счет диверсифицированной клиентской базы («скрытые чемпионы»). «Скрытые чемпионы» играют значимую роль в развитии технологических бизнесов. Однако лишь малой части амбициозных технологических идей в области передовых производственных технологий удается преодолеть так называемую долину смерти (TRL 4 – TRL 7) [184].

Для реализации задачи по поиску «скрытых чемпионов» с 2018 года Инфраструктурным центром «Технет» совместно с ПАО «ОДК-Сатурн» (в программе принимают участие также и другие индустриальные партнеры) запущена акселерационная программа TechNet Project [185]. В рамках программы были отобраны 30 проектов из 11 регионов, 25 проектов стали финалистами. По итогам программы TechNet Project 3 проекта стали резидентами Фонда «Сколково», 12 проектов получили поддержку по программе «Старт» Фонда содействия инновациям, 2 проекта попали в корпоративный акселератор АО «Кировский завод» и еще один проект стал участником корпоративного акселератора ПАО «Северсталь».

Одной из важнейших инициатив Ассоциации «Технет» стало активное вовлечение регионов в реализацию Национальной технологической инициативы. В ноябре 2018 года на IV Съезде инженеров Сибири, прошедшем в Томске, была принята резолюция, а также программа «Технет-Сибирь» как подпрограмма дорожной карты «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ, направленная на повышение глобальной конкурентоспособности предприятий-лидеров, базирующихся в Сибирском федеральном округе и работающих в высокотехнологичных отраслях, способных в долгосрочной перспективе обеспечить технологический прорыв и выйти на глобальные рынки, посредством использования передовых производственных технологий и создания Фабрик Будущего [186].

Значимой вехой для развития направления «Технет» стал конкурс на создание центров компетенций НТИ, проведенный в ноябре – декабре 2017 года в рамках Постановления Правительства РФ от 16 октября 2017 года № 1251 «Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета на оказание государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций и Положения о проведении конкурсного отбора на предоставление грантов на государственную поддержку центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций».

По итогам двух конкурсных отборов, проведенных в ноябре – декабре 2017 и марте 2018 года, были созданы центры компетенций НТИ по 14 «сквозным» технологиям:

1. «Технологии хранения и анализа больших данных»;
2. «Искусственный интеллект»;
3. «Технологии распределенных реестров»;
4. «Квантовые технологии»;
5. «Технологии создания новых и портативных источников энергии»;
6. «Новые производственные технологии»;
7. «Технологии беспроводной связи и Интернета вещей;
8. «Технологии управления свойствами биологических объектов»;
9. «Нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей»;
10. «Технологии компонентов робототехники и мехатроники»;
11. «Технологии сенсорики»;
12. «Технологии машинного обучения и когнитивные технологии»;
13. «Технологии транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем»;
14. «Технологии квантовой коммуникации».

Благодаря серьезному научно-технологическому заделу, сформированному, в том числе в рамках реализации ДК «Технет», на базе Института передовых производственных технологий СПбПУ[9] в январе 2018 года был создан Центр компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии». Для реализации программы развития Центра НТИ СПбПУ был сформирован консорциум с участием ведущих университетов, корпораций и крупных промышлен-

9 В феврале 2015 года в СПбПУ был создан первый в России Институт передовых производственных технологий (далее – ИППТ). Миссия ИППТ – генерация, применение и распространение глобально конкурентоспособных меж-, мульти- и трансдисциплинарных политехнических знаний, разработка, развитие и эффективное применение передовых производственных технологий, разработка продукции нового поколения, развитие практико-ориентированных технологий обучения и подготовки магистров в рамках выполнения НИОКР по заказам предприятий высокотехнологичной промышленности.

ных высокотехнологических предприятий – лидеров отраслей, научных организаций, высокотехнологичных компаний-лидеров («национальных чемпионов»), институтов развития и др.

Основным преимуществом заявки Центра НТИ СПбПУ стал почти 30-летний опыт работы на мировых рынках новых производственных технологий в партнерстве с ведущими компаниями мира, а также успешная деятельность по формированию стратегических документов и дорожных карт.

Ядром Центра НТИ СПбПУ является Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ (далее – Инжиниринговый центр СПбПУ), образованный в 2013 году на базе первой в России учебно-научной и инновационной лаборатории «Вычислительная механика» СПбПУ при участии spin-out компании СПбПУ ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®) и малого инновационного предприятия «Политех-Инжиниринг». Инжиниринговым центром был накоплен многолетний успешный опыт работы в интересах зарубежных высокотехнологичных компаний, в числе которых ABB, Airbus, BMW Group (BMW, MINI, Rolls-Royce), Boeing, Daimler (Mercedes-Benz Cars, Daimler Trucks), Ferrari, General Electric (Oil & Gas, Power, Healthcare), General Motors (Cadillac, Opel, Hummer), Tesla, LG Electronics, Schlumberger, Volkswagen Group (Audi, Bugatti Automobiles, Porsche), Weatherford International, China Nuclear Power Corporation, Chery, Liebao Motor, Zhiche Auto, Qiantu Motor и др.

Кроме того, можно отметить развитые партнерские взаимоотношения Инжинирингового центра СПбПУ с такими российскими организациями, как ГК «Росатом», ГК «Ростех», ГК «Роскосмос», ОАО «РЖД», ПАО «Газпром», ПАО «Газпром нефть», Объединенная двигателестроительная корпорация (ОДК), Объединенная авиастроительная корпорация (ОАК), АО «Вертолеты России», Объединенная судостроительная корпорация (ОСК), ФГУП «НАМИ», ПАО «АВТОВАЗ», ПАО «КАМАЗ», ООО «УАЗ», ПАО «Силовые машины», АО «Трансмашхолдинг», холдинг «Синара – Транспортные машины», ЦНИИ «Электроприбор» и многими другими [187].

Ключевая деятельность Центра НТИ СПбПУ – разработка решений для создания высокотехнологичных изделий мирового уровня с применением новых производственных технологий и кросс-отраслевых и мультидисциплинарных компетенций инженеров и ученых СПбПУ, а также членов консорциума.

Центр НТИ СПбПУ развивает компетенции предприятий в области передовых производственных технологий: готовит специалистов и организует внедрение ППТ на предприятиях, осуществляет трансфер новых производственных технологий в высокотехнологичные отрасли промышленности.

Ключевые компетенции Центра НТИ СПбПУ:

1. Smart Design – цифровое проектирование и моделирование (CAD-CAE-HPTC-CAO-CAM-CAAM), бионический / генеративный дизайн ((Simulation & Optimization)-Driven Bionic / Generative Design), цифровые двойники (Digital Twins), «умные» цифровые двойники – Smart Digital Twin (CAD, CAE, CAO, CAM, CAAM, Simulation & Optimization)-Driven Bionic Design, PDM, SPDM, PLM & Advanced Manufacturing).

2. Новые материалы (в первую очередь, композиционные материалы, наноматериалы, метаматериалы, металлопорошки для аддитивного производства).

3. Аддитивные технологии и аддитивное производство, включая 3D-принтеры, технологии, подходы и способы работ с исходными материалами, разработка и производство металлопорошков и набор услуг по 3D-печати.

4. Smart Manufacturing-технологии и гибридные производственные технологии [169].

Направления деятельности Центра НТИ СПбПУ соответствуют ключевым направлениям дорожной карты «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ, целям и задачам Национальной технологической инициативы, Стратегии научно-технологического развития РФ, национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и развиваются в русле концепции Фабрик Будущего: цифровая трансформация бизнес-процессов и бизнес-моделей, цифровое проектирование и моделирование, разработка цифровых двойников изделий и производственных / технологических процессов, аддитивные технологии, разработка и применение новых материалов и др.

Специалисты Центра НТИ СПбПУ совместно с партнерами и участниками консорциума формируют единую среду – экосистему – развития новых производственных технологий за счет согласованных действий по ключевым направлениям, от разработки до продвижения продукции, в рамках единой программы развития «сквозной» технологии и реализации плана мероприятий («дорожной карты») «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ.

В рамках утвержденной программы развития Центра НТИ СПбПУ ведется активная работа по достижению ряда значимых контрольных результатов ДК «Технет» (в части создания центра тестирования, верификации и валидации инженерного программного обеспечения (Центр TVV), развития кросс-отраслевой мультидисциплинарной платформы виртуальной разработки и испытаний глобально конкурентоспособных продуктов нового поколения, и полигона-демонстратора передовых производственных технологий и т.д.).

За время деятельности Центра НТИ СПбПУ состав консорциума расширился. На январь 2021 года в консорциум входит 81 организация, среди которых: 19 ведущих университетов (СПбПУ, МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ, Сколтех, Иннополис, ЮУрГУ, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, МГТУ «СТАНКИН», Московский политехнический университет, Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого и др.), 6 высокотехнологичных корпораций (ГК «Росатом», ГК «Ростех», ОАО «РЖД», АО «ОДК», ПАО «ОАК», АО «ОСК»), крупные промышленные высокотехнологические предприятия – лидеры отраслей («Северсталь», АВТОВАЗ, КАМАЗ, УАЗ и др.), крупнейшие научные организации (НИЦ «Курчатовский институт», РФЯЦ-ВНИИЭФ, ЦНИИ РТК, ИПХФ РАН и др.), высокотехнологичные компании-лидеры, «национальные чемпионы»: ГК «Диаконт», лауреаты Национальной промышленной премии Российской Федерации «Индустрия» ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®) и ЗАО «Биокад», победители конкурса «Развитие-НТИ» Фонда содействия инновациям, резиденты Фонда «Сколково», институты развития (Образовательный центр «Сириус», Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» и др.) [188].

С 2018 по 2020 год специалисты Центра НТИ СПбПУ совместно с партнерами и участниками консорциума приняли участие в реализации 100 НИОКТР проектов в интересах 70 организаций и высокотехнологичных предприятий, с общим объемом финансирования свыше 780 млн руб. Кроме того, было создано более 60 результатов интеллектуальной деятельности и заключены 55 соглашений на использование РИД.

За 2018–2019 гг. сотрудниками Центра НТИ СПбПУ было разработано и запущено свыше 30 дополнительных образовательных профессиональных программ повышения квалификации, в рамках которых прошли обучение свыше 8 000 человек.

Опыт реализации проектов и взаимодействия с заказчиками из различных отраслей показал, что существует потребность в обеспечении устойчивого развития предприятий за счет наращивания собственных компетенций. Для достижения этой цели Центром НТИ СПбПУ разработан, а в 2018–2019 годах реализован новый формат повышения квалификации и переподготовки

инженерных кадров высокотехнологичных предприятий промышленности – ЗИЦ – зеркальный инжиниринговый центр (за образец-прототип такого центра берется Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» СПбПУ), постоянно действующий механизм взаимодействия инженерных команд Заказчика и Исполнителя в ходе работы над несколькими проектами одновременно.

Для выполнения большого количества проектов для предприятий из разных высокотехнологичных отраслей промышленности применяется Цифровая платформа разработки цифровых двойников CML-Bench™ – разработка стратегического партнера Центра НТИ СПбПУ ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®). Эта разработка в 2017 году была удостоена Национальной промышленной премии Российской Федерации «Индустрия» («Промышленный Оскар») [189].

В рамках зеркальных инжиниринговых центров отрабатываются отраслевые подходы, масштабируются компетенции и внедряются наиболее успешные практики, касающиеся и непосредственно новых производственных технологий, и обеспечивающей деятельности, включая управление инновационными проектами и обеспечение информационной безопасности.

Результатом деятельности ЗИЦ становятся выполненные инженерно-технологические проекты по решению проблем-вызовов, подготовленная команда специалистов и выстроенный определенным образом процесс в области создания цифровых двойников и цифрового проектирования и моделирования высокотехнологичных изделий и технологических процессов.

Сотрудничество в рамках данного формата возможно как с высокотехнологичными компаниями, так и с университетами, заинтересованными в создании передовой инженерной команды, решающей реальные промышленные задачи мирового уровня – университетские зеркальные инжиниринговые центры (УЗИЦ).

В рамках этого направления сотрудничества предполагается создание региональных площадок – центров компетенций по направлению новых производственных технологий на базе ведущих университетов для развития высокотехнологичных рынков и компетенций посредством реализации совместных проектов с вузами и индустриальными партнерами этих регионов, через проведение совместных образовательных программ [190].

В настоящее время зеркальные инжиниринговые центры созданы на базе 11 организаций: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева, Астраханский государственный университет, УдмФИЦ УрО РАН, Южно-Уральский государственный университет, Фонд «Региональный центр инжиниринга» Пермского края. Сибирский федеральный университет, Сургутский государственный университет, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Тюменский государственный университет.

На базе РГАТУ им. П.А. Соловьева совместно с АО «ОДК» создан Центр цифрового машиностроения в рамках реализации дорожной карты «Технет НТИ – ОДК». В декабре 2018 года между Центром НТИ СПбПУ и Объединенной двигателестроительной корпорацией состоялось подписание дорожной карты «Технет НТИ – ОДК» – плана мероприятий по внедрению передовых производственных технологий в производственные процессы Корпорации, а также в дочерние и зависимые общества АО «ОДК» [191].

В соответствии с дорожной картой, стороны договорились осуществлять взаимодействие по созданию «умных» цифровых двойников нескольких моделей двигателей и внедрению инновационных технологий по всему жизненному циклу продуктовых программ. Также в рамках сотрудничества предполагается поэтапное формирование компетенций по разработке цифровых двойников путем создания зеркальных инжиниринговых центров (ЗИЦ) на дочерних

предприятиях АО «ОДК». Сроки завершения отдельных мероприятий дорожной карты запланированы на 2025 год.

Также работа по запуску пилотных проектов и созданию университетских зеркальных инжиниринговых центров ведется со следующими образовательными организациями: Тамбовский государственный технический университет, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Ульяновский государственный университет, Омский государственный технический университет и др.

Рисунок 39. Сеть университетских инжиниринговых центров

*Подчеркнутым шрифтом отмечены созданные УЗИЦ

Источник: Центр НТИ СПбПУ

Центр НТИ СПбПУ совместно с Центром НТИ «Сенсорика» МИЭТ, Центром НТИ в области робототехники и мехатроники на базе Университета Иннополис и Центром НТИ по беспроводной связи и Интернету вещей на базе Сколтеха, а также группой Форсайта 2.0 по направлению «Технет» НТИ приняли участие в подготовке новой редакции дорожной карты «Технет 4.0». В соответствии с пунктом 3 раздела VI Протокола № 2 заседания межведомственной рабочей группы по разработке и реализации Национальной технологической инициативы при Правительственной комиссии по модернизации экономики и инновационному развитию России от 26 июня 2020 года, рабочая группа «Технет» НТИ совместно с партнерами актуализировали дорожную карту и интегрировали в нее существующие документы по направлению «Передовые производственные технологии» [192]. В настоящий момент ДК «Технет 4.0» проходит согласование с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти.

Развитие передовых производственных технологий в рамках Стратегии научно-технологического развития

Стратегия научно-технологического развития определяет цель и основные задачи научно-технологического развития Российской Федерации, устанавливает принципы, приоритеты, основные направления и меры реализации государственной политики в этой области, а также ожидаемые результаты реализации Стратегии, обеспечивающие устойчивое, динамичное и сбалансированное развитие Российской Федерации на долгосрочный период.

Целью научно-технологического развития Российской Федерации является обеспечение независимости и конкурентоспособности страны за счет создания эффективной системы наращивания и наиболее полного использования интеллектуального потенциала нации [163].

В рамках Стратегии определены большие вызовы (объективно требующая реакции со стороны государства совокупность проблем, угроз и возможностей, сложность и масштаб которых таковы, что они не могут быть решены, устранены или реализованы исключительно за счет увеличения ресурсов), являющиеся основанием для выделения приоритетных направлений научно-технологического развития страны (см. Табл. 14).

Таблица 14. Большие вызовы и приоритеты научно-технологического развития, выделенные в рамках Стратегии НТР

	Большие вызовы	**Приоритеты**
1.	Исчерпание возможностей экономического роста России, основанного на экстенсивной эксплуатации сырьевых ресурсов, на фоне формирования цифровой экономики и появления ограниченной группы стран-лидеров, обладающих новыми производственными технологиями и ориентированных на использование возобновляемых ресурсов 15а	Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта 20а
2.	Демографический переход, обусловленный увеличением продолжительности жизни людей, изменением их образа жизни, и связанное с этим старение населения, что в совокупности приводит к новым социальным и медицинским проблемам, в том числе к росту угроз глобальных пандемий, увеличению риска появления новых и возврата исчезнувших инфекций 15б	Переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего, антибактериальных) 20в
3.	Возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан 15в	Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе, применяя методы гуманитарных и социальных наук 20ж
4.	Потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе 15г	Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания 20г

	Большие вызовы	Приоритеты
5.	Качественное изменение характера глобальных и локальных энергетических систем, рост значимости энерговооруженности экономики и наращивание объема выработки и сохранения энергии, ее передачи и использования 15д	Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии 20б
6.	Новые внешние угрозы национальной безопасности (в том числе военные угрозы, угрозы утраты национальной и культурной идентичности российских граждан), обусловленные ростом международной конкуренции и конфликтности, глобальной и региональной нестабильностью, и усиление их взаимосвязи с внутренними угрозами национальной безопасности 15е	Противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства 20д
7.	Необходимость эффективного освоения и использования пространства, в том числе путем преодоления диспропорций в социально-экономическом развитии территории страны, а также укрепление позиций России в области экономического, научного и военного освоения космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики 15ж	Связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики 20е

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам СНТР, «Большие вызовы и приоритеты научно-технологического развития» [193]

Для достижения результатов по приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации, установленных Стратегией НТР, Правительством Российской Федерации по согласованию с Советом при Президенте Российской Федерации по науке и образованию формируются и утверждаются комплексные научно-технические программы и проекты, включающие в себя все этапы инновационного цикла: от получения новых фундаментальных знаний до их практического использования, создания технологий, продуктов и услуг и их выхода на рынок.

Для выявления, отбора и формирования наиболее перспективных проектов и программ создаются советы по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации, которые осуществляют экспертное и аналитическое обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития страны [163].

Рассмотрение предложений программ и проектов по развитию технологий, которые также можно отнести к передовым производственным технологиям, осуществляет Совет по приоритету 20а Стратегии научно-технологического развития России «Переход к цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» под председательством академика РАН И.А. Каляева.

В 2017–2018 годах специалистами Центра НТИ СПбПУ был разработан «Прогноз реализации приоритета научно-технологического развития, определенного пунктом 20а Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». Проект выполнялся в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», мероприятие 1.1 «Проведение исследований, направленных на формирование системы научно-технологических приоритетов и прогнозирование развития научно-технологической сферы»[10]. В реализации проекта также приняли участие НИУ «Высшая школа экономики», Университет ИТМО, ФБУ «Российское технологическое агентство» (центр управления проектами в промышленности) и Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» [194].

Основными результатами работ стали:

- 36 детализированных перечней технологий;
- 11 блоков научных задач (проблем);
- 8 направлений исследований и разработок;
- 26 карт, 5 ландшафтов и матриц ключевых технологий;
- 25 ключевых российских и иностранных центров компетенций.
- 44 законодательных и 26 социальных барьеров для развития рынков продуктов, услуг и технологий.
- 10 аналитических карт, отражающих рынки, развитие которых обеспечивается реализацией выбранного приоритета.

Результаты работ были представлены в рамках 28 выступлений, было проведено 6 стратегических сессий, в которых приняло участие более 200 экспертов.

В рамках прогноза была подготовлена дорожная карта мер поддержки развития научно-технологических направлений в Российской Федерации.

Таблица 15. Дорожная карта реализации первоочередных мер в рамках Приоритета 20а

№	Этап реализации	Продолжительность этапа
1.	Вовлечение заинтересованных сторон: бизнеса, государства, науки в разработку нормативной правовой базы для реализации развития Приоритета	январь – июнь 2019 г.
2.	Формирование нормативной правовой базы для обеспечения поддержки научно-технологического развития в рамках направлений Приоритета	июнь 2019 г. – июнь 2020 г.
3.	Подготовка и утверждение профильных комплексных научно-технических программ по направлениям Приоритета[11]	июнь – декабрь 2019 г.
4.	Гармонизация мероприятий поддержки инновационного развития в разных сферах	январь 2020 г. – январь 2021 г.

10 Проект выполнен в рамках Соглашения о предоставлении субсидии от 23.10.2017 № 14.572.21.0008, заключенного с Министерством образования и науки Российской Федерации, а также в рамках Дополнительного соглашения № 1 от 21 декабря 2017 года. Уникальный идентификатор: ПНИЭР RFMEFI57217X0008.

11 Согласно Пункту 34, подпункту «а» Плана мероприятий по реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на 2017–2019 годы (первый этап), утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 июня 2017 года № 1325-р, утверждение первых КНТП было запланировано на 30 марта 2018 года, что не было выполнено.

5.	Поиск и отбор проектов и проектных команд для реализации комплексных научно-технических программ	декабрь 2019 г. – январь 2021 г.
6.	Формирование проектных консорциумов для реализации крупных проектов в рамках комплексных научно-технических программ	январь 2021 г. – январь 2022 г.
7.	Содействие развитию существующих и формирование новых центров компетенций (в том числе центров компетенций НТИ)	январь 2019 г. – июнь 2020 г.
8.	Запуск центров превосходства на базе ведущих и наиболее успешных команд	январь 2023 г. – июнь 2024 г.

По результатам выполнения работ также были подготовлены обоснованные предложения о возможных комплексных научных программах, обеспечивающих реализацию приоритета, среди которых программы развития технологий фотоники, суперкомпьютерных, аддитивных, квантовых технологий. Представлено описание фактически реализующейся комплексной научно-технологической программы полного инновационного цикла – «Формирование цифровой промышленности на основе цифровых двойников». Также к разработке и реализации были предложены программа развития искусственного интеллекта и машинного обучения и программа развития технологий систем обработки больших данных. Для некоторых программ предложен альтернативный (обратный) алгоритм формирования и реализации комплексных научно-технических проектов. Подробные результаты исследования представлены в следующих разделах.

Стратегия НТР реализуется в два этапа: первый этап – 2017–2019 гг., второй этап – 2020–2025 гг. В июне 2017 года был принят План мероприятий по реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на 2017–2019 годы (первый этап), согласно которому предполагается создание механизмов, обеспечивающих гармонизацию научной, инновационной, промышленной, экономической и социальной политики для ответа на большие вызовы, проведение фундаментальных исследований и реализация научно-технических проектов в рамках выделенных приоритетов, формирование системы воспроизводства и привлечения кадров для задач научно-технологического развития, создание условий для роста инвестиционной привлекательности научной, научно-технической и инновационной деятельности[12] (содержит 43 мероприятия). План мероприятий по реализации Стратегии НТР на 2020–2025 годы (второй этап) в настоящий момент находится на согласовании.

В рамках Плана на 2017–2019 гг. разработана государственная программа «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (далее – ГП НТР), которая является одним из основных механизмов реализации Стратегии НТР, детализирует ряд инструментов ее выполнения, источники и правила финансирования [195]. Она включает программу фундаментальных исследований и комплексные научно-технологические программы по приоритетным направлениям [196]. Документ утвержден в марте 2019 года (постановление Правительства Российской Федерации от 29 марта 2019 года № 377) на срок до 2030 года с реализацией в 2 этапа: первый этап – 2019–2024 годы, второй этап – 2025–2030 годы.

Главными целями программы определены:

- Развитие интеллектуального потенциала нации;
- Научно-техническое и интеллектуальное обеспечение структурных изменений в экономике;
- Эффективная организация и технологическое обновление научной, научно-технической и инновационной (высокотехнологичной) деятельности.

12 Пункт 39 Стратегии НТР.

Достижение поставленных целей предполагается за счет реализации мероприятий ГП НТР, в том числе реализации национального проекта «Наука», трех федеральных проектов национального проекта «Образование» в части высшего образования: «Молодые профессионалы (Повышение конкурентоспособности профессионального образования)», «Новые возможности для каждого», «Экспорт образования», и мероприятий двух федеральных проектов национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [197].

На реализацию госпрограммы в 2019 году из федерального бюджета было выделено 688,3 млрд руб. (в 2020 году – 740,7 млрд руб., в 2021 году – 795,9 млрд руб.). В марте 2020 года в Программу были внесены изменения (постановление Правительства РФ от 31.03.2020 № 390), в том числе увеличено финансирование на 103 млрд руб. до 2030 года (в 2020 году – 777,7 млрд руб., в 2021 году – 834,1 млрд руб.) [198]. Также в список участников ГП НТР включен Фонд содействия инновациям (что свидетельствует о распространении действия программы не только на сферу науки и технологий, но и на инновации), а в перечень ее подпрограмм внесена Национальная технологическая инициатива, на финансирование которой предусмотрено в 2020 году 10,6 млрд руб., в 2021-м – 9,5 млрд руб. [199]. К 2030 году объем ассигнований федерального бюджета на реализацию госпрограммы планируется довести до более чем 1 трлн рублей в год.

Национальный проект «Наука» реализуется в целях обеспечения присутствия Российской Федерации в числе пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития, обеспечения привлекательности работы в Российской Федерации для ведущих российских и зарубежных ученых и молодых перспективных исследователей и увеличения внутренних затрат на научные исследования и разработки.

Для достижения поставленных целей были определены следующие задачи:

- Создание не менее 15 научно-образовательных центров мирового уровня на основе интеграции университетов и научных организаций и их кооперации с организациями, действующими в реальном секторе экономики;
- Создание научных центров мирового уровня, включая сеть международных математических центров и центров геномных исследований;
- Обновление не менее 50% приборной базы ведущих организаций, выполняющих научные исследования и разработки;
- Создание передовой инфраструктуры научных исследований и разработок, инновационной деятельности, включая создание и развитие сети уникальных научных установок класса «мегасайенс»;
- Формирование целостной системы подготовки и профессионального роста научных и научно-педагогических кадров, обеспечивающей условия для осуществления молодыми учеными научных исследований и разработок, создания научных лабораторий и конкурентоспособных коллективов [200].

К концу 2020 года в рамках нацпроекта было создано 10 научно-образовательных центров мирового уровня (НОЦ), призванных обеспечить решение прорывных прикладных задач по приоритетам Стратегии НТР (в том числе в рамках реализации комплексных научно-технических программ), необходимых для развития инновационной экономики страны и подготовки высококвалифицированных кадров, способных участвовать в решении таких задач, в том числе в рамках Центров компетенций НТИ.

Также было образовано 3 центра геномных исследований, 4 международных математических центра и 10 научных центров мирового уровня по приоритетам научно-технологического развития (НЦМУ). Центры созданы на базе научных организаций, вузов или их объединений в форме консорциума для выполнения научных исследований и разработок.

Один из научных центров мирового уровня «Передовые цифровые технологии» – был создан на базе консорциума из 4 организаций: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (координатор консорциума), Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Тюменский государственный университет и НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева Минздрава России [201].

Основная цель программы Центра – обеспечение научно-технологического прорыва на основе фундаментальных и прикладных исследований мирового уровня, формирование условий для перехода на принципиально новый уровень применения наукоемких технологий и эффективности современного цифрового производства.

Основные научные направления НЦМУ «Передовые цифровые технологии»:

- Передовые цифровые технологии (цифровое проектирование, математическое и суперкомпьютерное моделирование, управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design) и технологии «умного» производства (Smart Manufacturing);
- Искусственный интеллект;
- Роботизированные системы;
- Материалы нового поколения и аддитивные технологии.

Каждое научное направление включает не только исследования, но и подготовку молодых ученых и инженеров. Развитие кадрового потенциала и кросс-отраслевой трансфер компетенций прописаны в числе целей создания НЦМУ, поэтому результаты деятельности Центра будут находить оперативное отражение в материалах учебных программ СПбПУ и вузов консорциума. В деятельность НЦМУ будет вовлечено 880 научных сотрудников, 51% из них составят молодые исследователи.

Развитие передовых производственных технологий в рамках национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»

Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» направлена на достижение следующих целей:

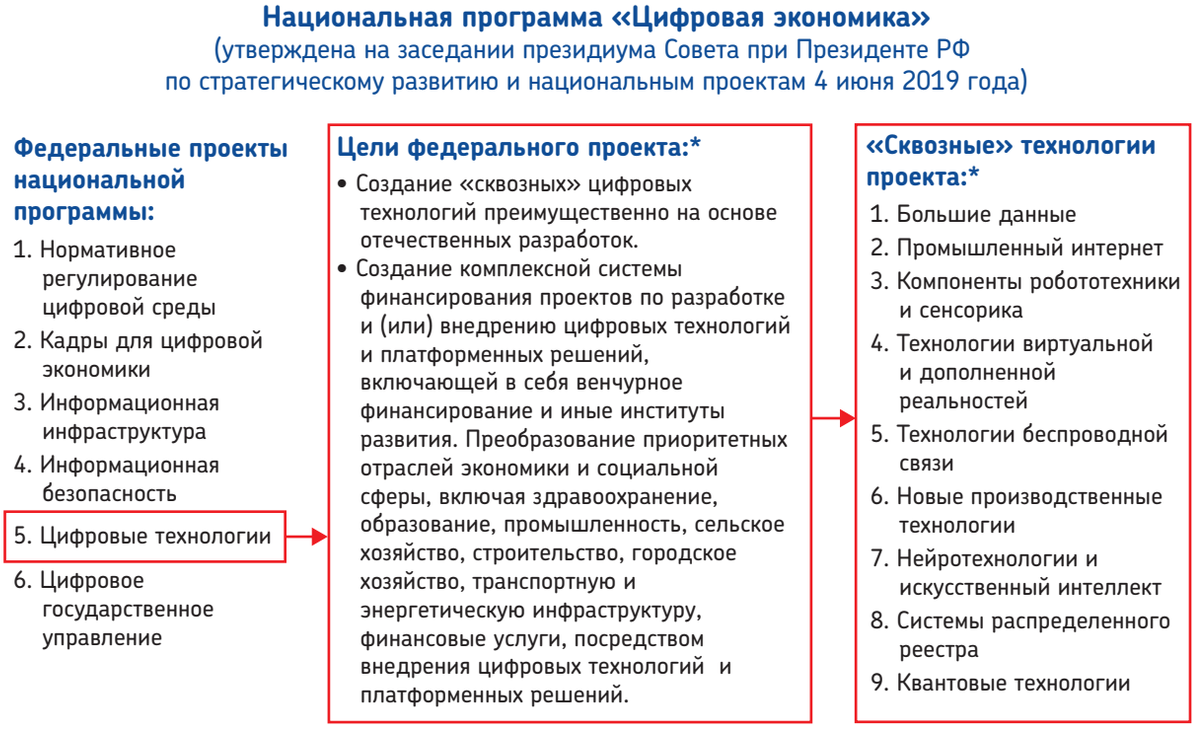
- «увеличение внутренних затрат на развитие цифровой экономики за счет всех источников (по доле в валовом внутреннем продукте страны) не менее чем в три раза по сравнению с 2017 годом;
- создание устойчивой и безопасной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры высокоскоростной передачи, обработки и хранения больших объемов данных, доступных для всех организаций и домохозяйств;
- использование преимущественно отечественного программного обеспечения государственными органами, органами местного самоуправления и организациями» [164].

Для достижения поставленных целей программа предусматривает реализацию следующих федеральных проектов: «Нормативное регулирование цифровой среды», «Информационная инфраструктура», «Кадры для цифровой экономики», «Информационная безопасность», «Цифровые технологии», «Цифровое государственное управление».

В рамках федерального проекта «Цифровые технологии» предполагается формирование институциональной среды для развития исследований в области цифровой экономики, обеспечения коммерциализации наиболее перспективных решений, развития технологических заделов по 9 направлениям «сквозных» цифровых технологий и создания системы финансирования проектов по разработке, развитию цифровых технологий, а также платформенных решений, что включает инструменты венчурного финансирования и поддержку институтов развития [202].

В рамках реализации федерального проекта в 2019 году были разработаны дорожные карты по каждой из 9 «сквозных» цифровых технологий (см. Рис. 40) [195, 203].

Рисунок 40. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: ключевые направления



* - по данным паспорта национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденного 4 июня 2019 года

Источник: Центр НТИ СПбПУ [195, 203]

В сентябре 2020 года 7 дорожных карт по «сквозным» технологиям в России до 2024 года были одобрены президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности [204]. В документах описывается текущий уровень развития каждой из технологий, эффекты от их развития и целевые показатели, необходимые мероприятия, финансирование и сроки реализации.

Дорожные карты приняты по следующим «сквозным» технологиям:

1. Нейротехнологии и искусственный интеллект.
2. Технологии виртуальной и дополненной реальностей.
3. Новые производственные технологии.
4. Технологии беспроводной связи.
5. Системы распределенного реестра.

6. Квантовые технологии.
7. Компоненты робототехники и сенсорика.

Дорожная карта по «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» [205] была разработана экспертами Центра НТИ СПбПУ (апрель – июнь 2019 г.) по заказу ГК «Росатом». Документ направлен на формирование рамочных условий для поиска, отбора и организации целевой поддержки проектов в сфере новых производственных технологий в Российской Федерации. Проект был реализован в кратчайшие сроки (около 2 месяцев). К разработке были привлечены более 200 экспертов из 160 организаций Российской Федерации.

В результате проведенного исследования и экспертного обсуждения в качестве ключевых компонентов ДК СЦТ НПТ были включены следующие субтехнологии:

- Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design);
- Технологии «умного» производства (Smart Manufacturing);
- Манипуляторы и технологии манипулирования.

Одним из важных результатов работы по подготовке ДК СЦТ НПТ является формирование перечня мероприятий, определяющего механизмы разработки и развития СЦТ НПТ. Предполагается, что реализация указанных мер позволит преодолеть существующие барьеры, благодаря чему станет возможным достижение целевых показателей развития технологий. Таким образом, последовательность шагов, предусмотренная для решения технологических задач в сфере НПТ, позволит осуществить переход от текущего уровня готовности российских НПТ и состояния высокотехнологичной промышленности к целевому видению, запланированному на 2024 год.

В рамках дорожной карты СЦТ НПТ были определены механизмы поддержки перспективных проектов и инициатив:

- грантовая поддержка малых предприятий;
- поддержка программ деятельности лидирующих исследовательских центров;
- поддержка отраслевых решений;
- поддержка разработки и внедрения промышленных решений;
- поддержка региональных проектов;
- поддержка компаний-лидеров;
- предоставление субсидий кредитным организациям.

Общий объем планируемых инвестиций на реализацию ДК СЦТ НПТ составляет более 145,3 млрд руб., из которых около 69 млрд – из бюджетных средств, более 76 млрд – из внебюджетных средств [205].

Дорожная карта по направлению развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» была утверждена 27 сентября 2019 года на заседании президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности. Разработанный документ представлен в Приложении 5.

В рамках федерального проекта «Цифровые технологии» в январе 2020 года были отобраны 7 лидирующих исследовательских центров (ЛИЦ) и 4 компании-лидера по разработке про-

дуктов, сервисов и платформенных решений на базе «сквозных» цифровых технологий. На финансирование ЛИЦ направлено 2 млрд рублей, компаний-лидеров – 792 млн рублей. 3 компании получили гранты Фонда «Сколково», покрывающие до 50% затрат на реализацию пилотных проектов внедрения отечественных продуктов, созданных на базе «сквозных» цифровых технологий [206].

Поддержка «сквозных» технологий осуществляется и на уровне государственных корпораций. В июле 2019 года были подписаны соглашения между Правительством Российской Федерации и крупными компаниями о развитии отдельных высокотехнологичных направлений [207]. В частности, соглашения были подписаны со следующими компаниями:

- ПАО «Сбербанк» по развитию технологий «Искусственного интеллекта»;
- ОАО «РЖД» по развитию технологий «Квантовые коммуникации» [208];
- Госкорпорацией «Росатом» по развитию технологий «Квантовые вычисления» [209] и «Технологии создания новых материалов и веществ» [210];
- Госкорпорацией «Ростех» по развитию направлений «Квантовые сенсоры», «Технологии распределённого реестра», «Новые поколения узкополосной беспроводной связи для «Интернета вещей» и связи ближнего и среднего радиусов действия»;
- ПАО «Ростелеком» и госкорпорацией «Ростех» по развитию направлений «Беспроводная связь нового поколения» (трехстороннее соглашение) [211].

В рамках развития направления «Искусственный интеллект» «Сбербанк» совместно с ведомствами, представителями субъектов федерации и технологическими компаниями разработали Национальную стратегию развития искусственного интеллекта до 2030 года в Российской Федерации (утверждена указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490). Во исполнение Стратегии разработан и утвержден федеральный проект «Искусственный интеллект» (седьмой проект в рамках нацпрограммы «Цифровая экономика») [212, 213].

Также в августе 2020 года между Правительством Российской Федерации, Госкорпорацией «Росатом» и Госкорпорацией «Ростех» было подписано соглашение о намерениях по развитию «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» (СЦТ НПТ) [214]. При подготовке документа учитываются ключевые положения дорожной карты по развитию СЦТ НПТ, разработанной Центром НТИ СПбПУ. Эксперты Центра НТИ СПбПУ также принимают активное участие в формировании нового документа, разрабатываемого Госкорпорацией «Росатом» и Госкорпорацией «Ростех» в рамках соглашения о намерениях.

С целью реализации проектов высокотехнологичных компаний, направленных на развитие цифровой экономики, в том числе в рамках представленных выше программ, определены прямые (гранты, субсидии, заемное финансирование) и косвенные (налоговые льготы) инструменты поддержки. Наиболее востребованными инструментами поддержки среди высокотехнологичных компаний являются субсидии в рамках государственных и федеральных целевых программ, информационная и консультационная поддержка органов власти, поддержка со стороны институтов развития, государственная поддержка экспорта продукции, финансовые займы и налоговые льготы [215]. Далее представлен краткий обзор мер поддержки, оказываемых институтами развития.

Таблица 16. Существующие меры поддержки инновационного развития институтами развития

Субъект	Меры поддержки	Поддерживаемые проекты. Стадии проектов	Результативность
Агентство стратегических инициатив (АСИ)	Отсутствие прямой финансовой поддержки, нефинансовые услуги для бизнеса (консультирование, коммуникационные сервисы, проведение мероприятий и т.д.).	Развитие бизнеса, образовательные и социальные проекты.	К 2020 году Leader-ID – коммуникационная экосистема сообществ, включает более 900 тыс. участников, 550 проектов получили поддержку.
VEB Ventures («ВЭБ Инновации»)	Инвестирование в развитие проектов растущих и зрелых компаний. В качестве приоритетных рассматриваются проекты НТИ, национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и проекты, способствующие развитию экономики городов и территорий. Меры поддержки – предоставление займов компаниям или долевое участие от 50 млн руб. до 1 млрд руб.	Возможности для бизнеса. Поддержка крупных инфраструктурных проектов, промышленных производств. Уровень технологической готовности продукта – не ниже TRL4.	По состоянию на май 2020 года проинвестировано 14 проектов (суммарно $ 6,3 млрд).
Федеральная корпорация по развитию малого и среднего предпринимательства (АО «Корпорация МСП»)	Обеспечение доступа малого и среднего бизнеса к государственным закупкам, финансовое содействие: кредиты, гарантии (5–500 млн руб.).	Возможности для бизнеса. Поддержка крупных инфраструктурных проектов, промышленных производств.	В 2019 г. консолидированный объем финансовой поддержки субъектов МСП составил 443,4 млрд руб., 3,2 трлн рублей – объем закупок у МСП.
Российская венчурная компания (АО «РВК»)	Государственный фонд фондов: в портфеле компании различные венчурные фонды, предоставляющие поддержку на разных стадиях. Финансовая поддержка проектов НТИ: до 8,7 млрд руб. до 2021 года. Корпоративный акселератор GenerationS, в том числе содействие коммуникации стартапов и их потенциальных заказчиков; экспортный аскелератор НТИ, рейтинг «ТехУспех» и проект «Национальные чемпионы».	Возможности для бизнеса. Поддержка проектов на стадии НИОКР, ОКР, промышленное производство.	На конец 2019 г. совокупный объем фондов, созданных с участием капитала РВК, увеличился на 15,6 млрд руб. и достиг 64,4 млрд руб. Доля АО «РВК» – 37,3 млрд руб. В текущий портфель входит 29 венчурных фондов, которые проинвестировали 180 инновационных компаний. Совокупный объем одобренных к инвестированию средств – 15,9 млрд руб.

Субъект	Меры поддержки	Поддерживаемые проекты. Стадии проектов	Результативность
АО «Роснано»	Основной формат участия – вклад в уставный капитал компании, займы компаниям, поручительство, развитие инвестиционных фондов.	Возможности для бизнеса. Поддержка проектов на стадии развития и стадии роста.	350 млрд руб. – годовой оборот портфельных компаний. К 2017 году создано 15 наноцентров, 94 компании, годовой оборот которых более 350 млрд руб.
Российский научный фонд (РНФ)	Проведение конкурсного отбора научных и научно-технических программ и проектов в сфере фундаментальных и поисковых исследований. Предоставление крупных грантов 2–150 млн руб. сроком от 2 до 7 лет. Гранты на реализацию комплексных научных программ организаций (условие – 25% софинансирования). Президентские гранты для поддержки ученых 5 млн руб.	Возможности для научного сообщества. Поддержка фундаментальных научных исследований.	С 2013 по 2019 год профинансировано более 7,6 тысяч проектов и программ (суммарный объем 102 млрд руб.), поддержано более 50 тысяч ученых.
Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ)	Более 10 конкурсов. Грантовая поддержка научных проектов. Средний размер гранта на проведение научных исследований по проектам – не менее 1,5 млн руб., при сроке выполнения – не менее 3 лет.	Возможности для научного сообщества. Поддержка фундаментальных научных исследований.	В 2019 году было профинансировано около 18 тысяч проектов (суммарно 19,7 млрд руб.).
Фонд «Сколково»	Предоставление статуса резидентов – налоговые льготы, гранты от 5 до 300 млн руб., софинансирование, минигранты до 5 млн руб., микрогранты до 1,5 млн руб., услуги для бизнеса на льготных условиях.	Возможности для бизнеса. Поддержка фундаментальных и поисковых исследований.	Более 1900 компаний в экосистеме. В 2018 г. выручка составила 69,6 млрд руб., инвестиций более 13 млрд руб., 1435 одобренных грантов (суммарно 1 млрд руб.).
Фонд развития интернет-инициатив (ФРИИ)	Предоставление инвестиций технологическим компаниям на ранних этапах развития, проведение акселерационных программ, участие в разработке методов правового регулирования венчурной отрасли. Фонд получает долю в компаниях. Инвестиции на посевной стадии развития до 25 млн руб. в проект, на стадии роста до 324 млн руб.	Возможности для ИКТ стартапов. Поддержка на стадии разработки опытного образца/прототипа).	735 стартапов в ИКТ-сфере получат инвестиции в течение 9 лет. Объем Фонда – 6 млрд руб. В 2018 г. более 400 проинвестированных компаний, 3,17 млрд руб. проведенных инвестиций.

Субъект	Меры поддержки	Поддерживаемые проекты. Стадии проектов	Результативность
Фонд развития промышленности (ФРП)	Цель работы фонда – модернизация промышленности, организация новых производств, импортозамещение. Фонд предоставляет целевые займы по ставке 1% и 5% годовых сроком до 7 лет в объеме от 5 млн до 750 млн руб.	Возможности для бизнеса. Поддержка проектов на стадии промышленного производства.	По итогам 2019 года профинансировано 189 проектов на общую сумму 34,5 млрд руб. Всего в период 2015–2019 годов ФРП профинансировал 669 проектов промышленных предприятий (общая сумма займов 149 млрд руб.). Помимо займов фонда, компании самостоятельно инвестируют в реализацию своих проектов более 235 млрд руб.
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере	Выделение грантов компаниям: программа «СТАРТ» – до 10 млн руб. на поддержку стартапов на ранних стадиях развития; программа «Развитие» – до 15 млн руб. на НИР, ОКР; программа «Интернационализация» – до 15 млн руб. (при условии софинансирования из внебюджетных средств в размере не менее 50% от суммы гранта) на разработку несырьевой экспортно-ориентированной продукции; конкурс «Коммерциализация» – до 20 млн рублей (при условии 100% софинансирования из собственных и (или) привлеченных средств) на проекты, результаты которых имеют перспективу коммерциализации (стадия НИОКР завершена); программа «Кооперация» – до 25 млн руб. Поддержка инновационной деятельности предприятий в рамках взаимодействия крупных компаний с малым бизнесом.	Возможности для бизнеса. Поддержка проектов на стадии НИР, ОКР, опытно-промышленное производство.	Бюджет 12,8 млрд руб. Более 500 ежегодно поддерживаемых стартапов. По программе «Старт» поддержано – более 7000 стартапов, «Развитие» – более 7000 проектов, Коммерциализация» – более 800 компаний, интернационализация» – более 200 проектов.

Субъект	Меры поддержки	Поддерживаемые проекты. Стадии проектов	Результативность
Российский фонд прямых инвестиций (РФПИ)	Осуществляет прямые инвестиции в лидирующие и перспективные российские компании. Участие в акционерном капитале компании до 50%.	Возможности для бизнеса. Поддержка проектов компаний, имеющих экспортный потенциал или ориентированных на выход на новые рынки.	По состоянию на 2019 г. Фонд инвестировал более 1,9 трлн рублей, из них 180 млрд рублей – средства РФПИ и 1,7 трлн рублей – средства партнеров. Реализуется более 80 проектов. Фонд привлек более $ 40 млрд иностранного капитала в российскую экономику.

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам открытых источников

3. ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ И ДИНАМИКИ СПРОСА НА ПРОДУКТЫ В ОБЛАСТИ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕКТОРАЛЬНОМ И ГЕОГРАФИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ

А. И. Боровков, К.В. Кукушкин, А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская (СПбПУ)

3.1. Атлас экономической сложности и стратегические вызовы для России

Для оценки макроэкономического развития стран мира могут использоваться различные инструменты. Одним из наиболее актуальных подходов является визуализация потоков глобальной торговли (экспорта и импорта). Такой анализ позволяет анализировать сложность экономики, прогнозировать потенциал для роста и новые возможности для стран мира.

Инструмент для анализа международной торговли «Атлас экономической сложности» был создан Гарвардской лабораторией роста (Harvard Growth Lab, Гарвардский университет, США) (далее – Атлас) [216].

В рамках развития платформы Атласа были сформированы профили экспорта и импорта для отдельных стран, проанализированы новые виды продукции, выведенные странами на мировые рынки в последние десятилетия. Также на основе анализа сформированы стратегические направления для развитых и развивающихся стран.

По результатам оценки сложности экономик различных стран авторы Атласа сформировали четыре типа стратегий для различных стран мира:

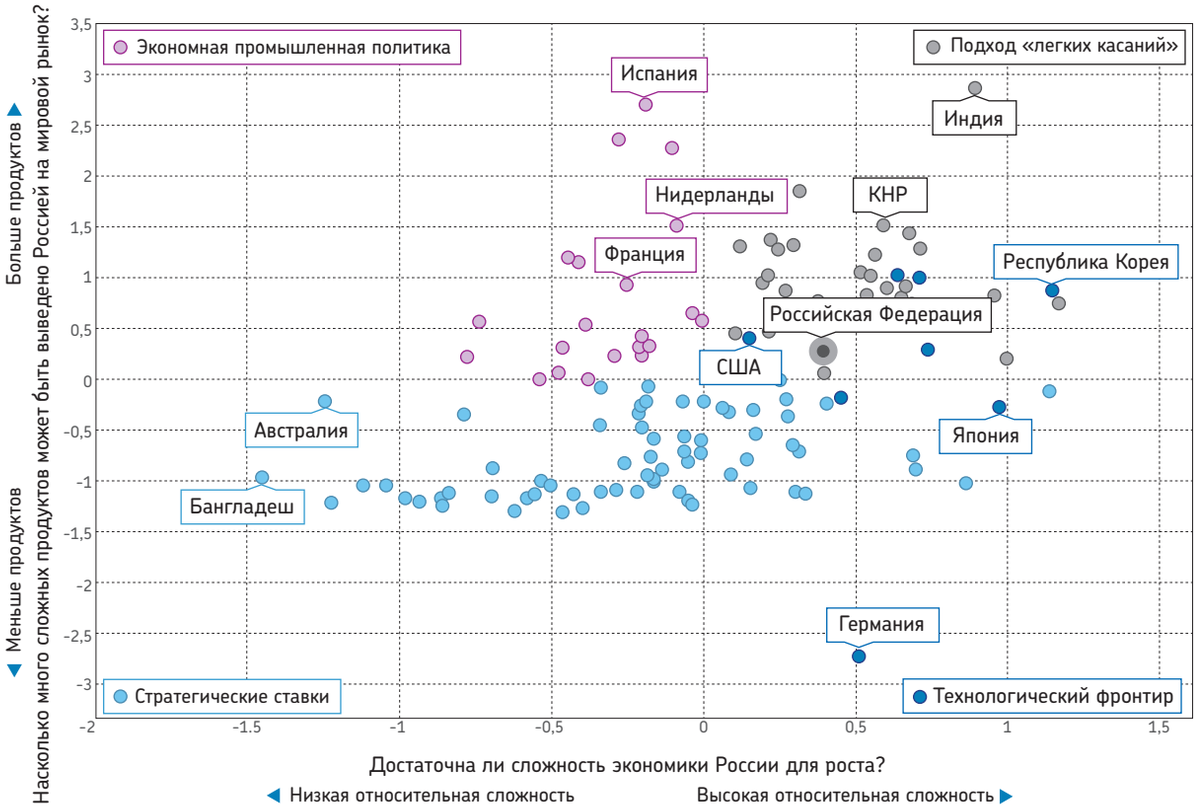
1) Экономная промышленная политика – ограниченное число возможностей диверсификации экономики для страны. Существует ограниченное число точек роста, для доступа к ним необходимо преодоление ряда технологических и других барьеров.

2) Подход «легких касаний» – наличие возможностей для роста в уже развитых секторах экономики, в том числе за счет существующих ноу-хау. Достаточный потенциал для диверсификации экономики, использование которого позволит повысить сложность экономики.

3) Технологический фронтир – экономика исчерпала возможности для роста по большинству существующих на рынке продуктов, рост возможен только за счет развития и внедрения новых продуктов.

4) Стратегические ставки – ограниченное число возможностей для развития требует определения перспективных стратегических приоритетов, реализация которых позволит усилить потенциал для диверсификации экономики [216].

Рисунок 41. Оценка технологической сложности и возможностей развития экономик мира



Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам Harvard Growth Lab, «Атлас экономической сложности», 2018 [216]

Наличие в России экономических заделов, включая ноу-хау, формирует умеренные возможности для диверсификации в смежные продуктовые направления, то есть использовать подход «легких касаний».

Согласно методологии Harvard Growth Lab, при реализации этого подхода могут быть рассмотрены стратегии усложнения экономики России, в том числе развития новых направлений продуктов. Согласно анализу, наиболее перспективными отраслями для России являются **промышленное машиностроение и автомобилестроение**.

Выделяются три сценария реализации стратегического приоритета:

1) «Низко висящие фрукты» – для сценария предусмотрен следующий разброс значимости параметров: высокая достижимость результата (60%), невысокая сложность (15%) и при развитии ряда (25%) линеек продуктов есть возможность выйти на производство более высокотехнологичной / сложной продукции.

Таблица 17. Приоритизация продуктовых групп для стратегического развития экономики России. Сценарий «низко висящие фрукты» (сортировка по сложности и возможностям открытия новых линеек)

№	Наименование линейки продуктов	Отрасль	Скорость достижения[13]	Открытие новых линеек усложнения продукции[14]	Сложность продукции[15]	Объем рынка мировой торговли ($ млрд)	Прогноз роста на 5 лет (%)
1.	Препараты для травления металлических поверхностей	Химия	3	5	5	1,59	-13,2%
2.	Смазочные материалы	Химия	2,5	5	5	9,44	0,1%
3.	Электрическое паяльное оборудование	Электроника	3	5	5	12	7,4%
4.	Искусственный графит	Химия	3,5	5	5	1,92	-5,3%
5.	Прокат плоский из прочих легированных сталей	Металлургия	3	5	5	30,8	15,7%
6.	Трансмиссионные валы	Машиностроение	3,5	5	5	54,6	5,7%
7.	Текстильные изделия технического назначения	Легкая промышленность	3,5	5	5	5,01	5,1%
8.	Оборудование для измерения температуры материалов	Машиностроение	3,5	5	5	40,3	8,1%
9.	Корпуса автомобилей	Производство транспортных средств	4	5	4,5	8,56	-15,9%
10.	Пружины из железа или стали	Металлургия	3,5	5	4,5	6,8	6%
Среднее значение:			***3,3***	***5***	***4,9***	***17,1***	***1,37%***

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам Harvard Growth Lab, «Атлас экономической сложности», 2018 [216]

13 От 1 до 5 баллов, 1 балл – длительный срок, 5 баллов – короткий срок.

14 От 1 до 5 баллов, 1 балл – открытие небольшого количества новых линеек продукции, 5 баллов – открытие большого количества новых линеек продукции.

15 От 1 до 5 баллов, 1 балл – низкая сложность продукции, 5 баллов – высокая сложность продукции.

2) «Сбалансированное портфолио» – для сценария предусмотрен следующий разброс значимости параметров: высокая достижимость результата (60%), невысокая сложность (20%) и при развитии ряда (20%) линеек продуктов есть возможность выйти на производство более высокотехнологичной / сложной продукции.

Таблица 18. Приоритизация продуктовых групп для стратегического развития экономики России. Сценарий «сбалансированное портфолио» (сортировка по объему мирового рынка)

№	Наименование линейки продуктов	Отрасль	Скорость достижения[16]	Открытие новых линеек усложнения продукции[17]	Сложность продукции[18]	Объем рынка мировой торговли ($ млрд)	Прогноз роста на 5 лет (%)
1.	Трансмиссионные валы	Машиностроение	3,5	5	5	54,6	5,7%
2.	Оборудование для измерения температуры материалов	Машиностроение	3,5	5	5	40,3	8,1%
3.	Прокат плоский из прочих легированных сталей	Металлургия	3	5	5	30,8	15,7%
4.	Электрическое паяльное оборудование	Электроника	3	5	5	12	7,4%
5.	Смазочные материалы	Химия	2,5	5	5	9,44	0,1%
6.	Корпуса автомобилей	Производство транспортных средств	4	5	5	8,56	-15,9%
7.	Пружины из железа или стали	Металлургия	3,5	5	5	6,8	6%
8.	Текстильные изделия	Легкая промышленность	3,5	5	4.5	5,01	5,1%
9.	Искусственный графит	Химия	3,5	5	5	1,92	-5,3%
10.	Препараты для травления металлических поверхностей	Химия	3	5	5	1,59	-13,2%
Среднее значение:			***3,3***	***5***	***4,9***	***17,1***	***1,37%***

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам Harvard Growth Lab, «Атлас экономической сложности», 2018 [216]

16 От 1 до 5 баллов, 1 балл – длительный срок, 5 баллов – короткий срок.

17 От 1 до 5 баллов, 1 балл – открытие небольшого количества новых линеек продукции, 5 баллов – открытие большого количества новых линеек продукции.

18 От 1 до 5 баллов, 1 балл – низкая сложность продукции, 5 баллов – высокая сложность продукции.

3) «Длинные прыжки» – для сценария предусмотрен следующий разброс значимости параметров: средняя достижимость результата (45%), невысокая сложность (20%) и при развитии ряда (35%) линеек продуктов есть возможность выйти на производство более высокотехнологичной / сложной продукции.

Таблица 19. Приоритизация продуктовых групп для стратегического развития экономики России. Сценарий «длинные прыжки» (сортировка по скорости достижения: от наиболее длительных по срокам развития «продуктовых» направлений, к наиболее динамичным по срокам реализации)

№	Наименование линейки продуктов	Отрасль	Скорость достижения[19]	Открытие новых линеек усложнения продукции[20]	Сложность продукции[21]	Объем рынка мировой торговли ($ млрд)	Прогноз роста на 5 лет (%)
1.	Станки для сборки электрических ламп	Машиностроение	1,5	5	5	3,71	-7,9%
2.	Машины и оборудование	Машиностроение	1,5	5	5	115	43%
3.	Препараты для травления металлических поверхностей	Химия	3	5	5	1,59	-13,2%
4.	Полиамиды	Химия	2	5	5	14,3	-1,2%
5.	Инструменты для физического и химического анализа	Машиностроение	2	5	5	42	15,7%
6.	Компоненты и принадлежности металлобрабатывающих станков	Машиностроение	2	5	5	18,9	0,5%
7.	Инструменты для ручной работы; пневматические, гидравлические моторы	Машиностроение	2	5	5	8,74	-1,9%
8.	Смазочные материалы	Химия	2,5	5	5	9,44	0,1%
9.	Корпуса автомобилей	Машиностроение	3	5	5	4,55	-18,4%
10.	Поршневые двигатели внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия	Машиностроение	25	5	5	46,7	-5,6%
Среднее значение:			***2,2***	***5***	***5***	***26,5***	***1,11%***

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам Harvard Growth Lab, «Атлас экономической сложности», 2018 [216]

19 От 1 до 5 баллов, 1 балл – длительный срок, 5 баллов – короткий срок.

20 От 1 до 5 баллов, 1 балл – открытие небольшого количества новых линеек продукции, 5 баллов – открытие большого количества новых линеек продукции.

21 От 1 до 5 баллов, 1 балл – низкая сложность продукции, 5 баллов – высокая сложность продукции.

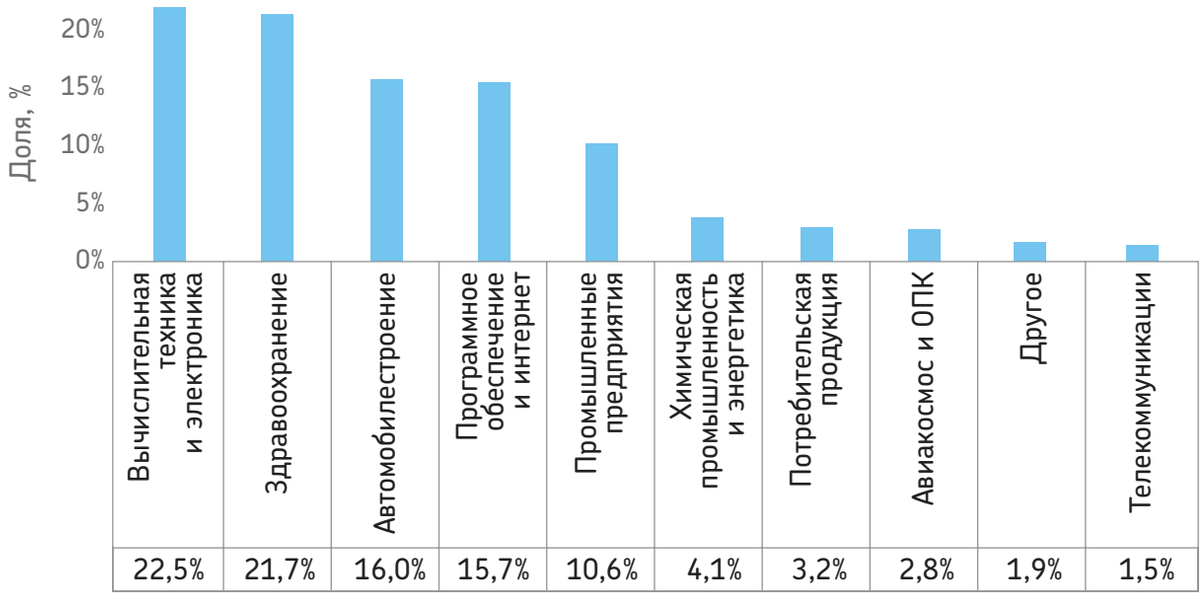
По оценке Harvard Growth Lab, при реализации сценария «длинные прыжки», которые являются приоритетными для России с позиции усложнения экономики и диверсификации, большинство линеек продукции относятся к машиностроению, общий объем рынка мировой торговли указанных продуктов превышает $ 26,5 млрд, а средние темпы роста составят 1,11% в течение следующих 5 лет.

Для реализации этих сложных задач необходимо формирование новой промышленности в России на основе передовых производственных технологий.

3.2. Мировые расходы на инженерные исследования и разработки (Engineering R&D spend, ER&D)

В 2018 году наибольший объем по расходам на исследования и разработки пришелся на вычислительную технику и электронику (22,5%), здравоохранение (21,7%) и автомобилестроение (16%) [217].

Рисунок 42. Распределение мировых расходов на исследования и разработки в разрезе отраслей экономики, мир (2018 год, %)



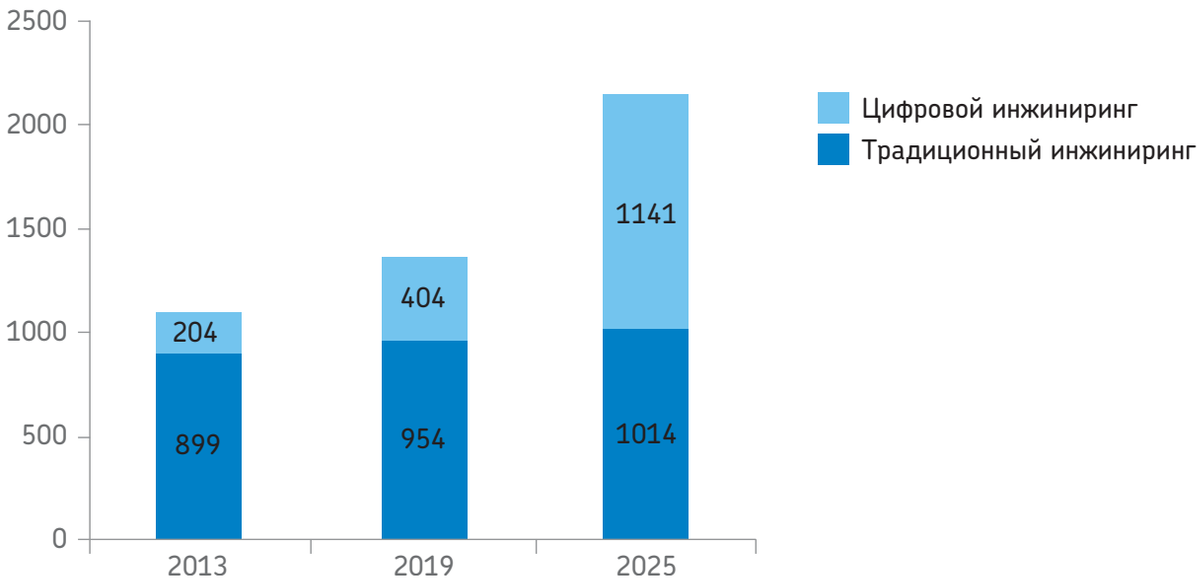
Источник: «Доля распределения расходов на исследования и разработки в разрезе отраслей», Statista, 2018 [217]

Доля промышленного производства в мировых расходах на исследования и разработки суммарно составляет не менее 29,4%, при этом наукоемкость обрабатывающих производств основана преимущественно на расходах предприятий на инжиниринг и проектирование [217].

Согласно отчету «Zinnov Zones ER&D Services 2019», мировые расходы компаний на инженерные исследования и разработки в 2019 году составили $ 1,36 трлн. Ожидается, что к 2025 году при среднегодовом темпе роста 7% (CAGR) объемы рынка достигнут отметки $ 2,2 трлн [218].

Расходы на ER&D подразделяют на две части: в 2019 году на долю традиционного инжиниринга (Legacy ER&D) пришлось около $ 954 млрд, в то время как расходы на цифровой инжиниринг (Digital Engineering) составили $ 404 млрд. В исследуемом периоде рост был зафиксирован в обоих сегментах [219]. Согласно прогнозу Zinnov, к 2025 году сегмент цифрового инжиниринга вырастет в 2,8 раза и составит 53% общего объема глобальных затрат на ER&D (по сравнению с 30% в 2019 году) [218].

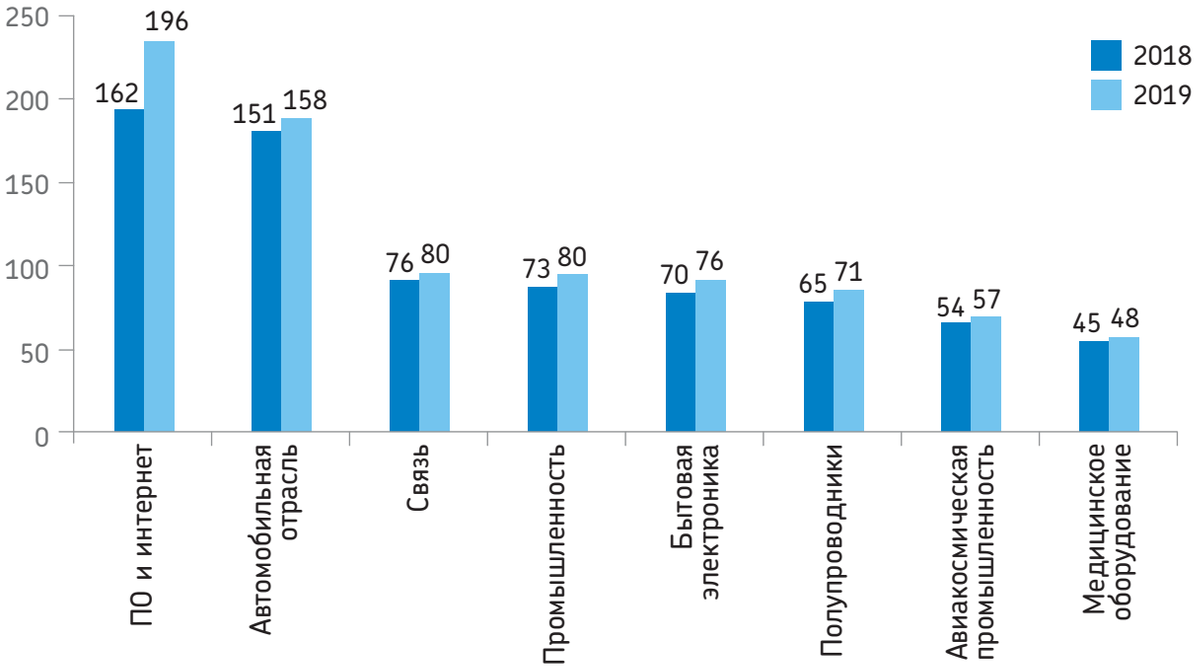
Рисунок 43. Динамика и прогноз мировых расходов на традиционный и цифровой инжиниринг (2013–2019 годы, $ млрд)



Источник: «Услуги в области инженерных исследований и разработок», Zinnov, 2019 [219]

По данным Zinnov, наблюдается не только общая тенденция увеличения расходов, но и неравномерное распределение затрат в различных отраслях. В период 2018–2019 годов ER&D-расходы компаний из сферы программного обеспечения (ПО) и интернет-технологий выросли на 21%, компаний - производителей полупроводников – на 10%, промышленных компаний и поставщиков бытовой электроники – на 9%, производителей медицинского оборудования – на 8%, представителей аэрокосмической отрасли – на 5%, компаний автомобильной отрасли – на 4% [219].

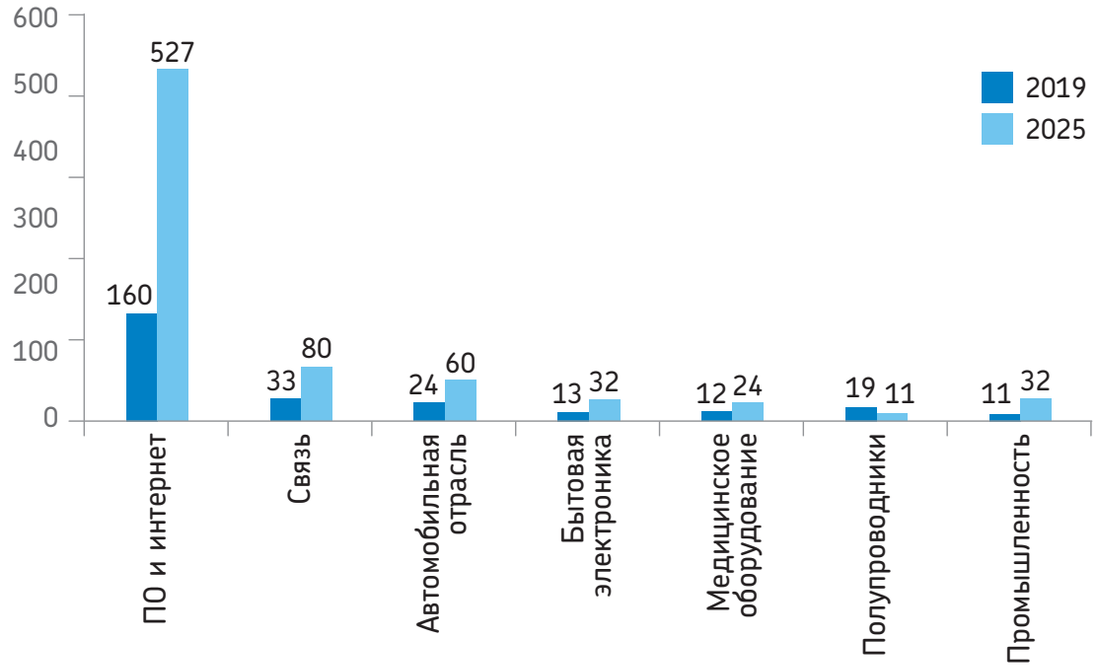
Рисунок 44. Динамика мировых расходов на инженерные исследования и разработки по отраслям (2018–2019 годы, $ млрд)



Источник: «Услуги в области инженерных исследований и разработок», Zinnov, 2019 [219]

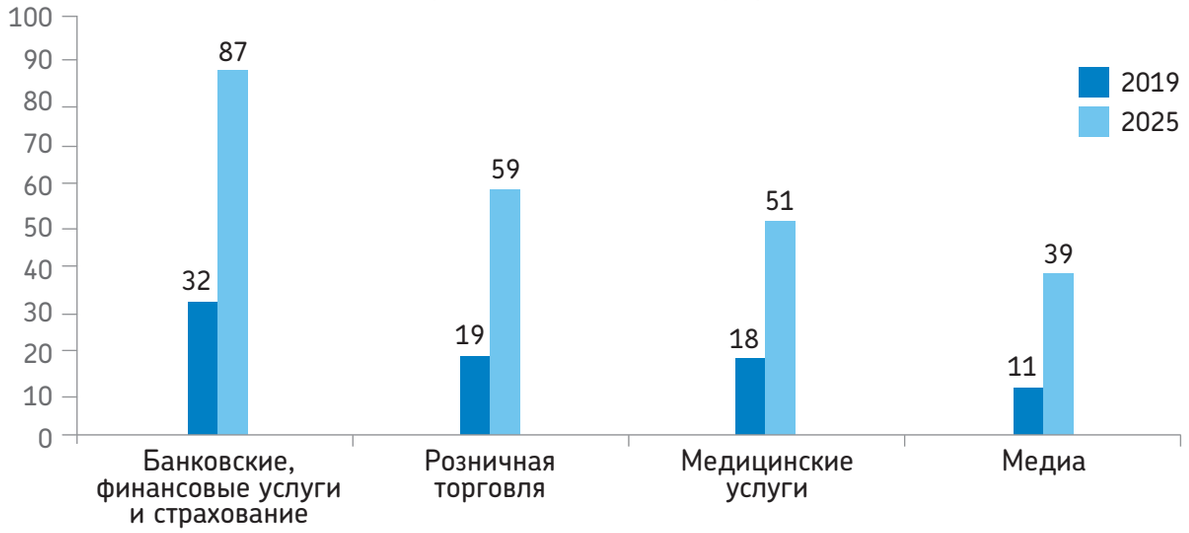
Кроме того, Zinnov прогнозирует дальнейший рост расходов на цифровой инжиниринг по всем отраслям. При среднегодовом темпе прироста (CAGR) 19% объем инвестиций в цифровой инжиниринг к 2025 году составит $ 1,14 трлн. Наибольший рост ожидается в сфере ПО и интернет-технологий (22%) и промышленном производстве (20%). В бытовой электронике и деятельности в области связи предполагается увеличение расходов на 16%, в автомобильной отрасли – на 15%, в производстве медицинского оборудования – на 12%, в полупроводниковой промышленности – на 10% [219].

Рисунок 45. Прогноз расходов на цифровой инжиниринг по отраслям (2019–2025 годы, $ млрд)



Источник: «Услуги в области инженерных исследований и разработок», Zinnov, 2019 [219]

Рисунок 46. Прогноз расходов на цифровой инжиниринг со стороны поставщиков услуг (2019–2025 годы, $ млрд)



Источник: «Услуги в области инженерных исследований и разработок», Zinnov, 2019 [219]

В исследовании Zinnov отмечается, что в настоящее время цифровой инжиниринг начинает играть ключевое значение в сфере услуг. Предприятия – поставщики банковских, финансовых услуг и услуг страхования, услуг розничной торговли, медицинских услуг и услуг медиа-

бизнеса вкладывают все большее количество средств в развитие этого направления. Вероятно, рост именно этих отраслей обусловлен их цифровизацией и ростом отрасли Software Engineering (разработка программного обеспечения). Прогнозируется, что к 2025 году совокупные затраты на цифровой инжиниринг со стороны компаний – поставщиков вышеуказанных услуг составят 1/5 от общих мировых расходов на цифровой инжиниринг [220].

Автомобилестроение – одна из ключевых отраслей по расходам на инженерные исследования и разработки (Automotive ER&D Spend)

В 2019 году мировые расходы на инженерные исследования и разработки в автомобильной промышленности достигли $ 158 млрд, рост расходов составил 5% по сравнению с предыдущим годом [220].

На долю автомобильных компаний, входящих в рейтинг Z1000 (рейтинг, формируемый компанией Zinnov, где компании ранжируются в соответствии с объемом расходов на инженерные исследования и разработки), пришлось 88% всех расходов ($ 139 млрд) [220]. При этом затраты 10 ведущих компаний Z1000 – Volkswagen Group, Toyota Motor, Daimler AG, Robert Bosch GmbH, General Motors, Ford Motor Company, Honda Motor, Nissan Motor, BMW, Continental AG – составили около 60% от общего объема расходов на инженерные исследования и разработки в автомобильной отрасли [221].

С точки зрения географической структуры рынка по итогам 2019 года Европа стала доминирующим регионом с долей около 50% ($ 79 млрд) в общемировом объеме расходов ER&D в автомобильной отрасли. Затраты компаний из Азиатско-Тихоокеанского региона составили около $ 55 млрд, или 35% [220]. Отмечается, что доля японских компаний составила около 26% [221]. Расходы компаний Северной Америки достигли отметки $ 24 млрд, что составило 15% общего объема [220].

Кроме того отмечается, что в автомобилестроении около 16% ($ 24,5 млрд) в 2019 году составили расходы на традиционный инжиниринг, на долю цифрового инжиниринга пришлось примерно 84% ($ 133,5 млрд) [220].

Рынок технологий инжиниринга и проектирования в России

В России в 2013 году была утверждена дорожная карта в области инжиниринга и промышленного дизайна, реализация которой была рассчитана на период до 2018 года. Дорожная карта представляла собой план мероприятий, направленный на создание институциональных и инфраструктурных условий для стимулирования деятельности отечественных компаний индустрии инжиниринга и промышленного дизайна; на общую модернизацию экономики РФ и преодоление разрыва с мировыми лидерами в уровне EPC(M)-компетенций [222].

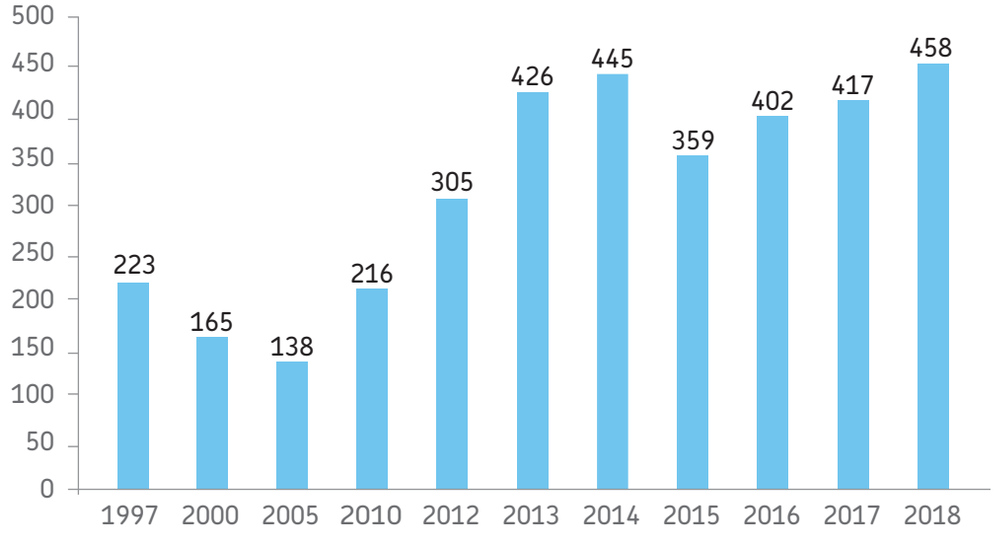
По данным Минпромторга России, с момента принятия дорожной карты были достигнуты следующие результаты: создание 72 инжиниринговых центров на базе высших учебных заведений в 39 субъектах РФ, создание около 13,5 тысяч рабочих мест, увеличение объема российского рынка инжиниринговых услуг до 900 млрд руб. в период с 2015 года по 2018 год [223].

В 2019 году на заседании Совета по инжинирингу и промышленному дизайну был одобрен проект новой дорожной карты на период 2019–2024 годов, который был подготовлен при участии Минпромторга России, Минобрнауки России, а также представителей профессионального инжинирингового и научного сообщества [223].

По материалам аналитического обзора Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, в котором представлены ключевые показатели, характеризующие степень развития технологий и инноваций в РФ, в 2018 году было разработано 1565 передовых производственных технологий, из них 458 технологий – относятся к виду «проектирование и

инжиниринг» [224]. Что касается динамики развития инноваций в области инжиниринговых услуг, в период с 2005 по 2014 год был зафиксирован значительный прирост технологических решений, в 2015 году наблюдался спад в развитии технологий инжиниринга. Однако благодаря планомерному росту в течение последних четырех лет, в 2018 году впервые был превышен уровень разработки технологий, достигнутый в 2014 году [225].

Рисунок 47. Динамика разработки технологий проектирования и инжиниринга (1997–2018 годы, шт.)



Источник: НИУ ВШЭ, «Наука. Технологии. Инновации: 2020: краткий статистический сборник» (2020), «Индикаторы науки: 2019: статистический сборник» (2019) [224, 225]

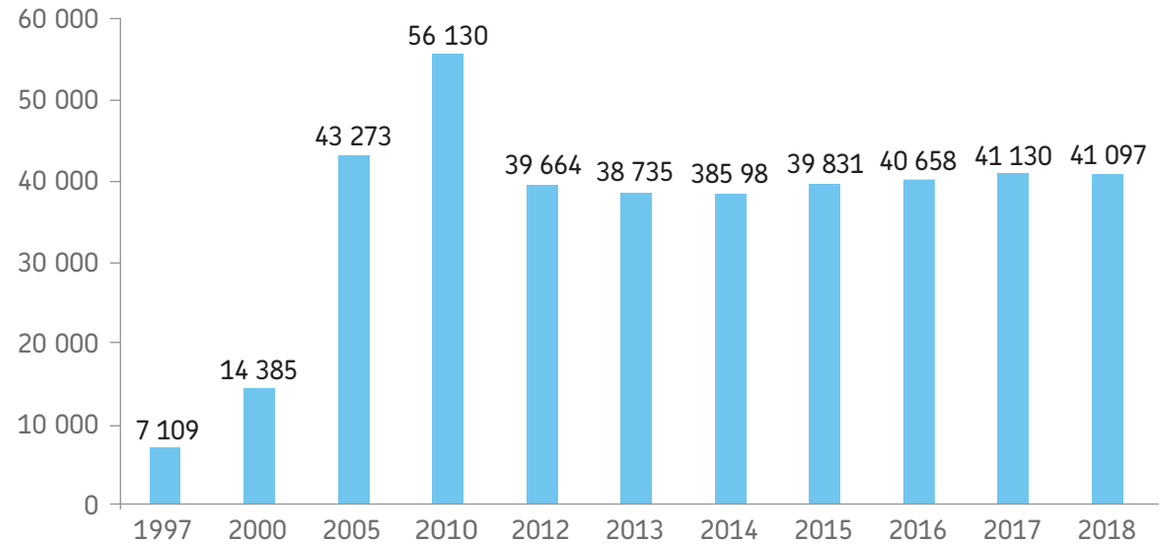
В 2018 году, согласно анализу НИУ ВШЭ, 8,3% разработанных в России технологий проектирования и инжиниринга были принципиально новыми, 91,7% технологий – новыми в стране [224].

Рисунок 48. Динамика разработки технологий проектирования и инжиниринга по степени новизны (1997–2018 годы, шт.)

Источник: НИУ ВШЭ, «Наука. Технологии. Инновации: 2020: краткий статистический сборник» (2020), «Индикаторы науки: 2019: статистический сборник» (2019) [224, 225]

Что касается применения услуг в области проектирования и инжиниринга, в 2018 году в России было использовано 41097 технологических решений. Говоря о динамике показателя, можно отметить, что после довольно резкого снижения количества используемых технологий, что произошло в 2012 году, в настоящий момент этот показатель сохраняется примерно на одинаковом уровне уже на протяжении 7 лет (2012–2018 годы) [225].

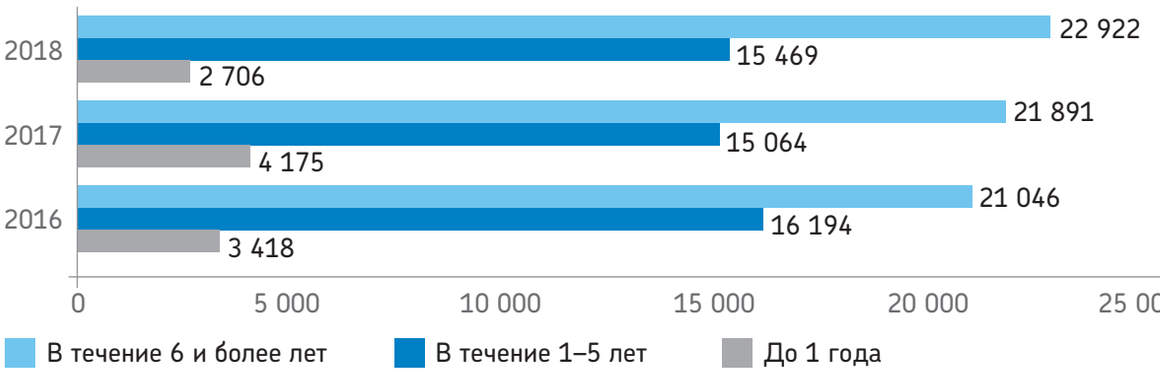
Рисунок 49. Динамика использования технологий проектирования и инжиниринга (1997–2018 годы, шт.)



Источник: НИУ ВШЭ, «Наука. Технологии. Инновации: 2020: краткий статистический сборник» (2020), «Индикаторы науки: 2019: статистический сборник» (2019) [224, 225]

По состоянию на конец 2018 года из общего числа применяемых в России технологий проектирования и инжиниринга 55,8% решений использовались на протяжении 6 и более лет, 37,6% технологий – в течение 1–5 лет, и 6,6% технологий применялись до 1 года [224].

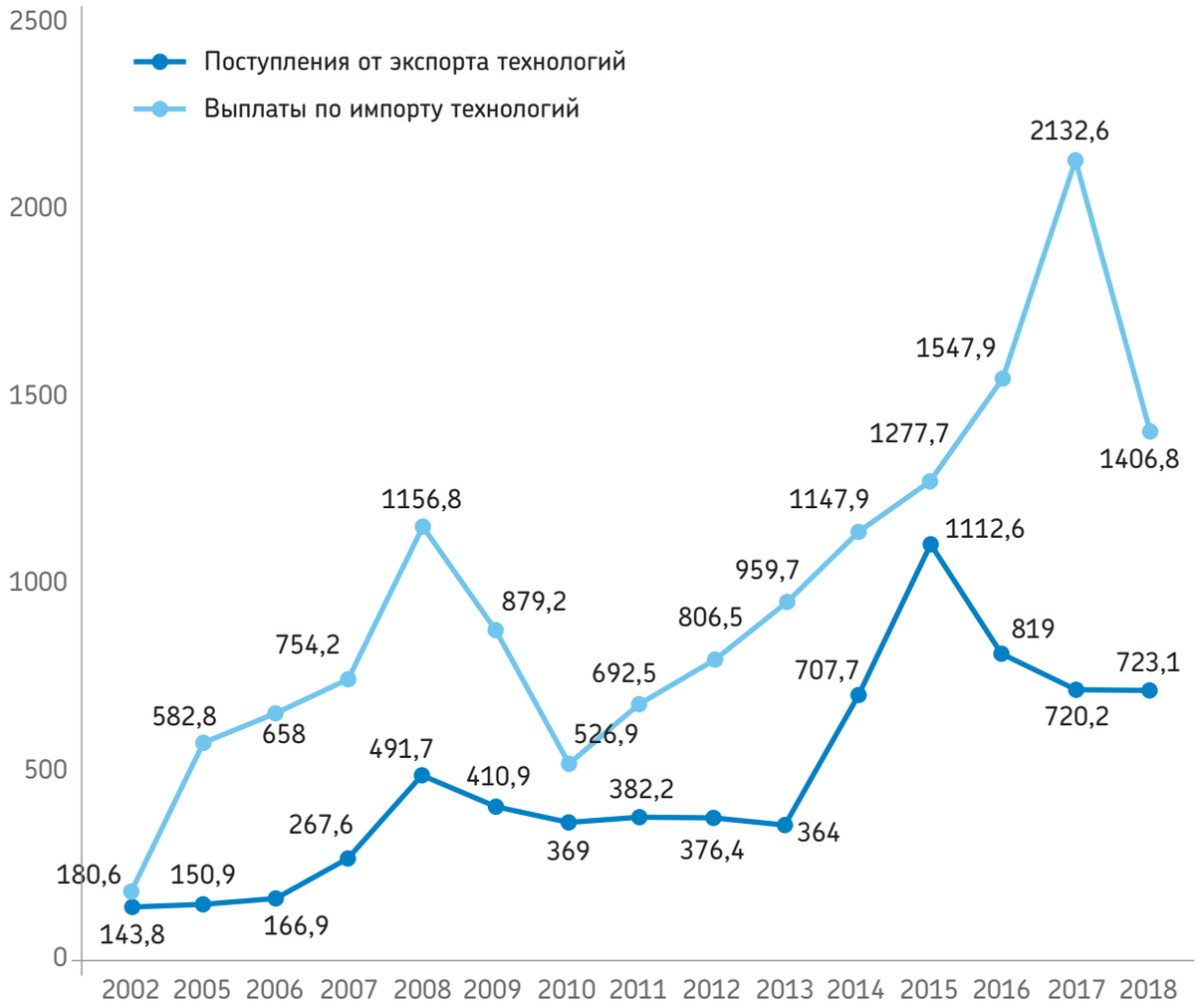
Рисунок 50. Динамика использования технологий проектирования и инжиниринга по продолжительности (2016–2018 годы, шт.)



Источник: НИУ ВШЭ, «Наука. Технологии. Инновации: 2020: краткий статистический сборник» (2020), «Индикаторы науки: 2019: статистический сборник» (2019) [224, 225]

По итогам 2018 года поступления от экспорта технологий в рамках оказания инжиниринговых услуг составили $ 723,1 млн, превысив показатель предыдущего года на 0,4%. Выплаты по импорту технологий в рамках оказания инжиниринговых услуг составили $ 1406,8 млн, при этом отмечается существенное снижение по данному показателю по сравнению с 2017 годом (34%) [224].

Рисунок 51. Баланс платежей за технологии в рамках оказания инжиниринговых услуг (2002–2018 годы, $ млн)



Источник: НИУ ВШЭ, «Наука. Технологии. Инновации: 2020: краткий статистический сборник» (2020), «Индикаторы науки: 2019: статистический сборник» (2019) [224, 225]

Для развития рынка инжиниринга и исследований и разработок важным является устойчивый спрос со стороны отраслей обрабатывающих производств.

Так, 27 сентября 2019 года на заседании президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности, которое провёл Заместитель Председателя Правительства Российской Федерации М.А. Акимов, была утверждена дорожная карта по «сквозной» технологии «Новые производственные технологии», разработанная сотрудниками Центра НТИ СПбПУ в кооперации с экспертным сообществом в рамках федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика» [205].

В Дорожной карте были определены отрасли, которые являются приоритетными с точки зрения спроса и внедрения передовых (новых) производственных решений:

- автомобилестроение (ОКВЭД: производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов, включая производство двигателей для автотранспортных средств);
- авиастроение и ракетно-космическая техника (ОКВЭД: производство летательных аппаратов, включая космические, и соответствующего оборудования);

- двигателестроение (ОКВЭД: производство силовых установок и двигателей для летательных аппаратов, включая космические);
- машиностроение, включая атомное, нефтегазовое, тяжелое, специальное машиностроение, железнодорожный транспорт (ОКВЭД: производство машин и оборудования общего назначения);
- судостроение и кораблестроение (ОКВЭД: строительство кораблей, судов и лодок);
- непрерывное / процессное производство (ОКВЭД: добыча полезных ископаемых; обрабатывающие производства: производство металлургическое, производство кокса и нефтепродуктов; производство химических веществ и химических продуктов) [204].

3.3 Рынок автомобилестроения

Автомобилестроение включает производство автотранспортных средств для перевозки пассажиров или грузов, производство различных комплектующих и принадлежностей, трейлеров, прицепов и полуприцепов, а также производство двигателей для автотранспортных средств.

В обзоре отрасли автомобилестроения, опубликованном аудиторско-консалтинговой компанией EY в 2019 году, отмечается, что в 2018 году мировые продажи легковых (passenger cars) и легких коммерческих автомобилей (LCV – Light Commercial Vehicle) снизились до $ 94,9 млн автомобилей (-0,4%) году несмотря на устойчивый рост в предшествующие 8 лет [226].

Крупнейшим рынком в 2018 году, на который приходится 46,6% продаж легковых и легких коммерческих автомобилей, остается Азия. На втором месте – рынок Северной Америки, 83,4% в объеме которого составляют США. Европейский союз и Великобритания занимают третье место по продажам [226].

Среди факторов снижения мирового предложения легковых и легких коммерческих автомобилей EY выделяет:

– Значительное падение спроса на крупнейшем азиатском рынке. В данном регионе снижение спроса отмечается, прежде всего, в Китае (-3%), что во многом связывается с повышением налогов во второй половине 2018 года. В качестве факторов падения продаж в Китае EY также выделяет жесткие экологические стандарты и экономическое противостояние с США – крупнейшим торговым партнером Китая.

– Значительное падение продаж в Северной Америке, в том числе в Канаде и Мексике. На мексиканский рынок автомобильной продукции влияние оказали ускорение инфляции и увеличение стоимости кредитов. Производительность рынков США и Канады зависела от циклов обновления автопарков. Рынок США продемонстрировал незначительный рост (+0,3%).

– Медленный рост продаж на европейском рынке. Данный рынок занимает третье место по мировым продажам автомобилей, однако ключевые регионы рынка демонстрируют разные показатели: рост отмечается в Испании (+7,1%), Франции (+3,8%) Германии (+0,8%), падение – в Италии (-3,8%) и Великобритании (-5,4%). Фактором роста стало повешение потребительского доверия. В Италии к падению спроса на автомобили привело снижение экономической активности и замедление экономического роста. Наибольшее значение на динамику европейского рынка оказало снижение спроса в Великобритании, связанное с неопределенностью ситуации с Брекситом (Brexit) – выходом Великобритании из ЕС.

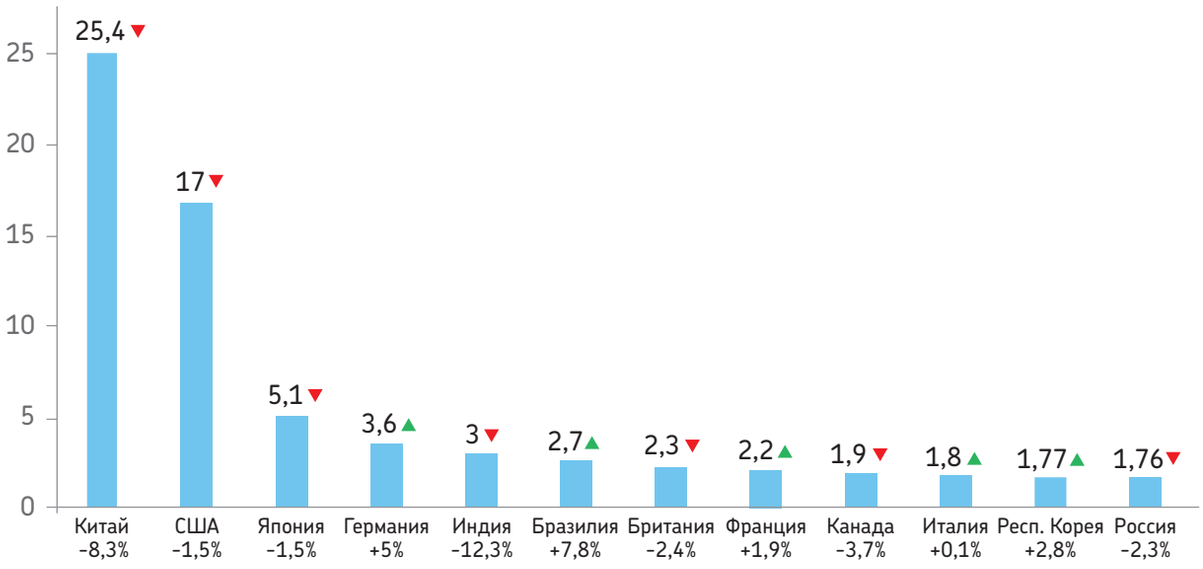
– Резкое падение продаж на Ближнем Востоке из-за сокращения спроса на трех крупнейших рынках: в Иране снижение на 20%, в Саудовской Аравии – на 21,5%, в Турции – на 34,4%. На продажи автомобилей в Иране повлияли санкции со стороны США. В Саудовской Аравии серьезное значение имели введение 5% налога на добавленную стоимость (НДС) и нестабильные цены на нефть. Быстрое обесценивание турецкой лиры и рост стоимости кредитов стали значительными препятствиями для продаж автомобилей в Турции [226].

Согласно оценкам EY, рост продаж легковых и легких коммерческих автомобилей отмечается в основном в странах БРИКС (группы из шести стран: Бразилии, России, Индии, КНР, ЮАР). В России и Бразилии, после рекордного снижения спроса в 2016 году, началось постепенное восстановление: в 2018 году продажи выросли на 14,9% в Бразилии и на 12,8% в России. Для автомобильной промышленности Индии 2018 год был сложным в связи с девальвацией национальной валюты, ростом цен на бензин и введением обязательного трехлетнего страхования для владельцев первого автомобиля. Однако на индийском рынке продолжается непрерывный рост, увеличение продаж автомобилей в 2018 году составило 8,3%. В качестве факторов развития выделяются сильная экономика и наличие потенциала для внедрения автомобилей: в Индии на тысячу взрослых приходится 39 автомобилей в сравнении с 642 автомобилями в Западной Европе. Компания EY прогнозирует, что страны БРИКС и другие развивающиеся рынки с низким уровнем обеспеченности автомобилями станут основными драйверами отрасли в период 2019–2025 годов. Важным фактором, влияющим на уровень роста, в данных группах стран будет скорость развития инфраструктуры. Кроме того, влияние будут оказывать рост количества электромобилей, степень цифровизации и распространенность каршеринга [226].

Рост рынка автомобилестроения EY констатирует и в Японии – 1,2% в 2018 году. Благоприятную среду для развития отрасли создал рост доходов населения на фоне стабильных макроэкономических показателей [226].

Согласно данным российского аналитического агентства «Автостат», количество новых легковых автомобилей, проданных в мире за 2019 год, составило 90,3 млн. На Китай, США, Японию, Германию и Индию пришлось порядка 60% продаж. Россия заняла 12-е место, продемонстрировав отрицательную динамику (-2,3%) [227].

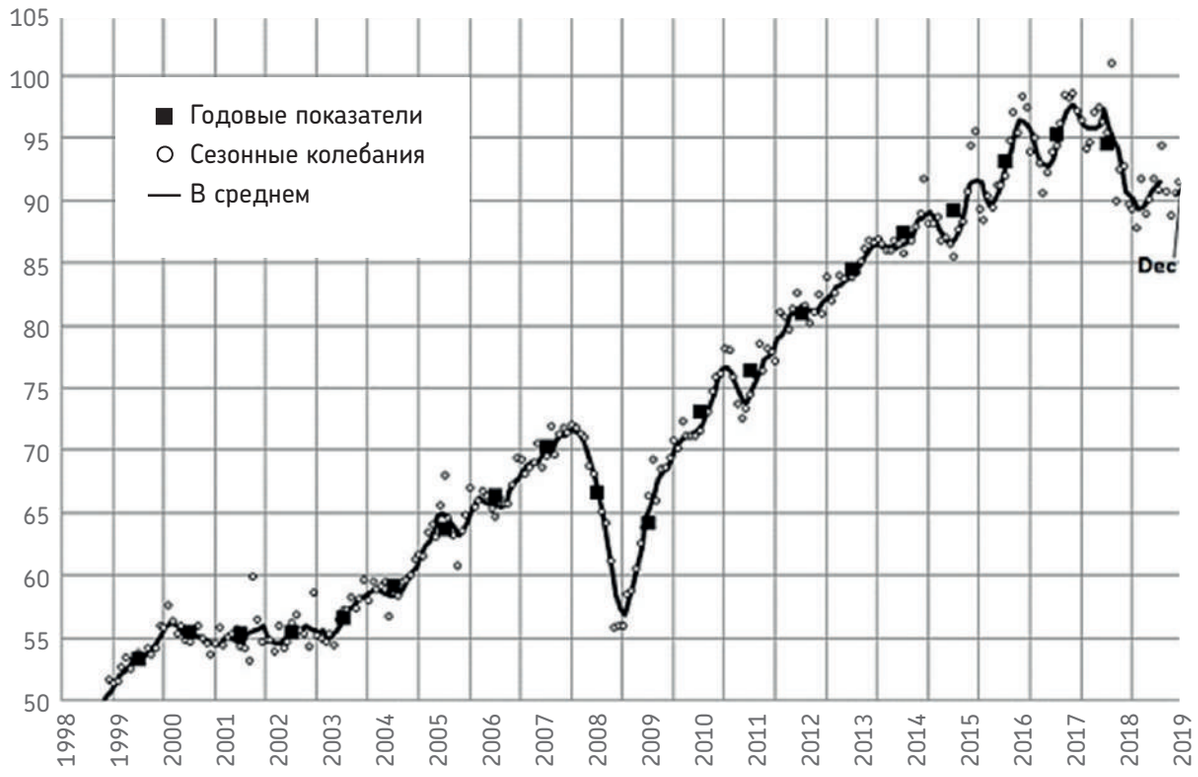
Рисунок 52. Продажи на мировом автомобильном рынке в 2019 году по странам (млн шт.)



Источник: «Ведущие мировые автомобильные рынки в 2019 году», Автостат, 2020 [227]

MarkLines Co., так же как и «Автостат», отмечает, что в целом показатели рынка легковых автомобилей в 2019 году упали на 4,4% в сравнении с 2018 годом [228].

Рисунок 53. Динамика продаж легковых автомобилей в 1998–2019 годах (млн шт.)



Источник: «Новости мировых продаж легковых автомобилей», MarkLines Co, 2020 [22]

Согласно отчету EY, продажи грузовых автомобилей в мире в 2018 году выросли на 4,3%, до 3,7 млн. Наибольшее число продаж грузовых автомобилей пришлось на Китай (41% от общего числа мировых), однако в целом в 2018 году из-за снижения спроса со стороны строительной отрасли китайский рынок продемонстрировал отрицательную динамику (-0,9%). В качестве причины роста мировых продаж грузовых автомобилей EY выделяет значительное увеличение сбыта в США (+16,8%) и Индии (+24,9%). Показатели США тесно связаны с макроэкономическими показателями, рост продаж в Индии объясняется значительными инвестициями в строительную отрасль, ростом горнодобывающей отрасли и развитием транспортной инфраструктуры [226].

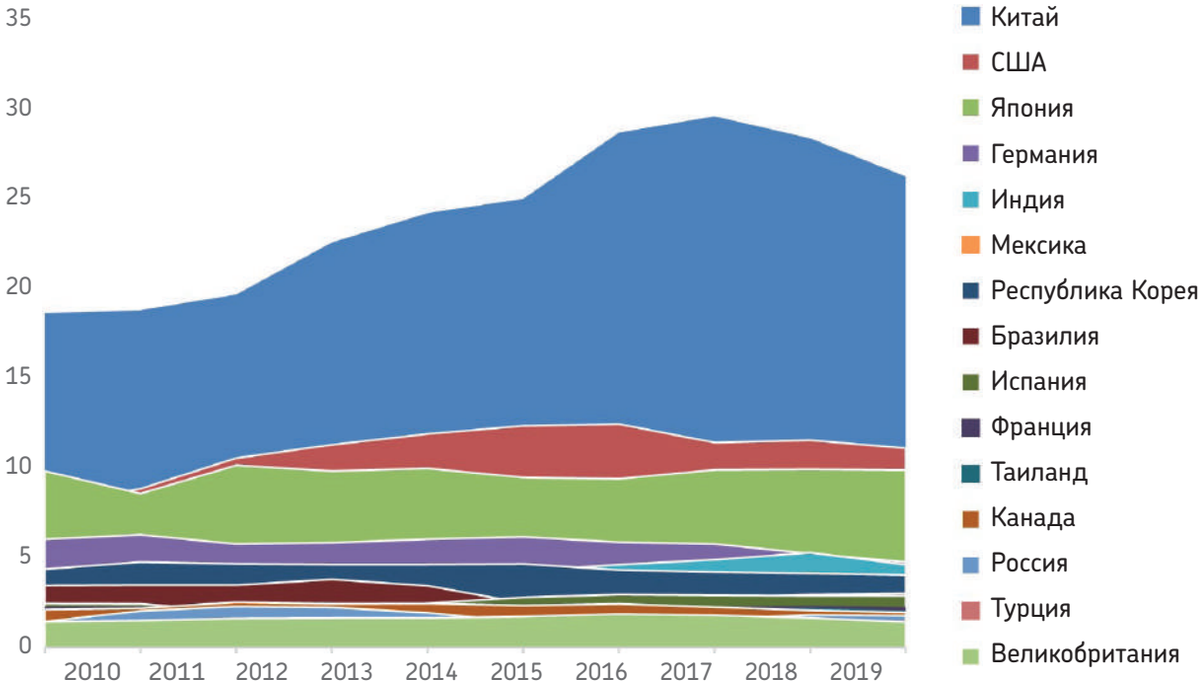
По данным Международной организации производителей автомобилей (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles), в 2019 году в мире было продано 91,2 млн автотранспортных средств (на 5,2% меньше, чем в 2018 году), в то время как произведено – 91,7 млн (на 4% меньше, чем в 2018 году) [229].

Лидером по производству автотранспортных средств в 2019 году стал Китай (25,7 млн), второе место занимают США (10,8 млн), третье – Япония (9,6 млн), Россия в 2019 году расположилась на 13-м месте, выпустив 1,7 млн автотранспортных средств.

Рисунок 54. Динамика производства и продаж автотранспортных средств в 2005–2019 годах (млн шт.)

Источник: OICA, 2019 [229. 230]

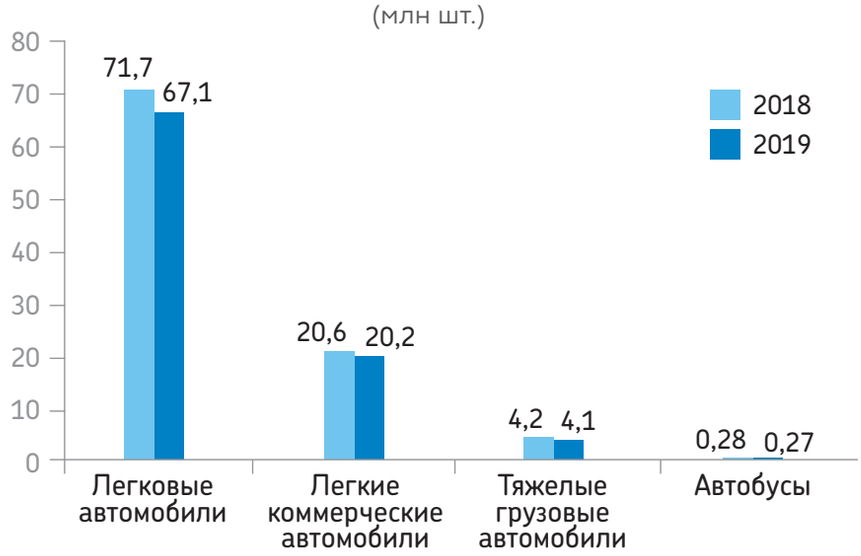
Рисунок 55. Динамика производства автотранспортных средств в 15 ведущих странах по производству в 2019 году (млн шт.)



Источник: OICA, 2019 [231]

Согласно OICA, производство всех типов автотранспортных средств снизилось в 2019 году в сравнении с 2018 годом. Наибольшая часть производства приходится на легковые автомобили.

Рисунок 56. Производство автотранспортных средств по типам в 2018 и 2019 годах (млн шт.)



Источник: OICA, 2019 [231–235]

EY выделяет тенденции, характерные для автомобилестроительной отрасли в целом:

– Увеличение продаж электромобилей. Продажи электромобилей в мире в 2018 году оцениваются в 3 млн автомобилей. Прогнозируется, что при 25% среднегодовом темпе роста рынок достигнет 38 млн автомобилей к 2030 году, лидером по продажам будет Китай. Факторами роста выступят снижение стоимости аккумуляторов электромобилей к 2023 году, ужесточение экологической политики и меры поддержки со стороны государств. В 2018 году 65% респондентов EY были готовы рассмотреть покупку электромобиля.

– Популяризация онлайн-продажи автомобилей. Все большее количество покупателей выбирают автомобили онлайн: 95% покупателей изучает сведения об автомобилях онлайн, 80% респондентов отметили влияние видеообзоров на конечный выбор автомобиля. Все большую популярность набирает возможность кастомизации автомобиля под индивидуальные потребности с помощью онлайн-сервисов.

– Развитие технологий совместного пользования автомобилем. В технологии каршеринга за последние пять лет было инвестировано $ 48,5 млрд. Прогнозируется, что в период 2019–2025 годов среднегодовые темпы роста рынка каршеринга составят 25%, что приведет к увеличению мирового объема рынка до $ 620 млрд. В 2018 году 25% покупателей противопоставляли каршеринг личному автомобилю [226].

3.4. Рынок двигателестроения

Двигателестроение является отраслью машиностроения, охватывающей производство двигателей, силовых установок, предназначенных для техники различного назначения и типа. В разделе рассмотрены несколько направлений производства двигателей: авиационное двигателестроение, включая двигатели для космических летательных аппаратов, судовое двигателестроение.

Двигатели для авиакосмической техники

По состоянию на 2018 год, по данным BIS Research, доход на глобальном рынке космических силовых установок (Space Propulsion Systems Market) достиг отметки $ 5,63 млрд. К 2023

году объем рынка может увеличится до $ 10,4 млрд при прогнозируемом среднегодовом темпе роста 13,06% (2018–2023 годы) [236].

Аналитики ResearchAndMarkets по итогам 2018 года оценили мировой рынок силовых установок, предназначенных для космических летательных аппаратов, в $ 5,73 млрд. Согласно их прогнозу, при среднегодовом темпе прироста 15,1% объем рынка может увеличиться до $ 20,25 млрд к 2027 году [237].

По данным Statista, в 2017 году на рынке двигателей для космических летательных аппаратов преобладал сегмент производства (65,3%), на долю коммерческих заказчиков приходилось 34,7%. К 2023 году ожидается увеличение доли коммерческого сегмента до 41,3% [238].

Рисунок 57. Мировой рынок силовых установок, предназначенных для космических летательных аппаратов, в 2017 и 2023 годах, по конечным потребителям ($ млрд)

Источник: Statista, 2020 [238]

С точки зрения географического распределения лидером рынка является Северная Америка, и ожидается, что этот регион сохранит свою позицию в течение исследуемого периода (2018–2027 годов). К факторам, стимулирующим рост североамериканского рынка, относятся: расширение производства гражданских и военных самолетов, увеличение количества космических экспедиций, рост числа программ военной модернизации [237].

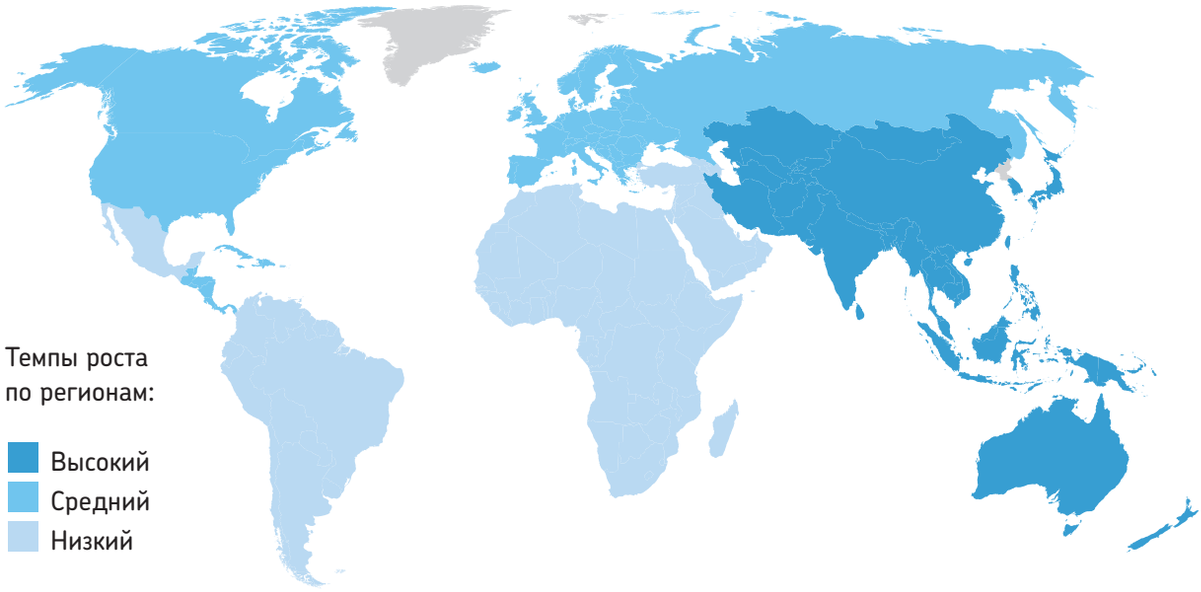
Выручка на мировом рынке авиационных двигателей, по оценкам Transparency Market Research (TMR), в 2017 году составила $ 67,8 млрд. При ожидаемом среднегодовом приросте 6,4% на протяжение исследуемого периода (2017–2022 годов) к 2022 году объем рынка может вырасти до $ 92,3 млрд [239].

В 2018 году, по данным Fortune Business Insights, объем глобального рынка авиационных двигателей составил $ 70,10 млрд. Ожидается, что к 2026 году она достигнет $ 97,12 млрд, продемонстрировав среднегодовой темп роста на уровне 4,16% (в период 2015–2026) [240].

Регионом-лидером на рынке авиационных двигателей по итогам 2018 года стала Северная Америка с объемом доходов $ 27,2 млрд. Ожидается, что в течение прогнозируемого периода самый большой объем выручки также будет приходиться на североамериканский рынок, однако самым быстрорастущим рынком станет Азиатско-Тихоокеанский регион [240].

Такие факторы, как значительный рост пассажиропотока в Индии и Китае и растущий парк коммерческой гражданской авиации и авиации общего назначения, будут способствовать высоким среднегодовым темпам роста в Азиатско-Тихоокеанском регионе [241].

Рисунок 58. Прогноз темпов роста рынка авиационных двигателей в разных регионах мира (2021–2026 годы)



Источник: «Рынок авиационных двигателей. Рост, тенденции и прогноз (2021–2026 гг.)», Mordor Intelligence, 2020 [242]

В зависимости от типа производимых двигателей рынок разделен на следующие сегменты: турбовентиляторные (турбореактивные двухконтурные), турбовинтовые, турбовальные газотурбинные и поршневые двигатели. Основную долю рынка занимает сектор турбовентиляторных двигателей. Данный тип наиболее широко применяется в области гражданского и военного авиастроения. Таким образом, прогнозируется, что вследствие ожидаемого значительного увеличения заказов на гражданского самолеты в Азиатско-Тихоокеанском регионе, в сегменте турбовентиляторных двигателей будет наблюдаться самый высокий среднегодовой темп прироста (CAGR) в период 2020–2025 годов [240]. Кроме того, применение турбовентиляторных двигателей нового поколения предполагается и в рамках программ по разработке новых моделей самолетов, которые еще не введены в эксплуатацию (COMAC C919; Boeing 777X) [242].

Рынок авиационных двигателей в гражданском и военном сегментах сильно консолидирован. Наибольшая доля акций принадлежит компаниям General Electric, Pratt & Whitney (United Technologies Corporation), Rolls-Royce Holding PLC и Safran SA. Большая часть продаж двигателей General Electric Company и Safran SA осуществляется через CFM International – совместное предприятие General Electric и Safran SA [242]. По состоянию на май 2019 года доля CFM International составила 44% мирового рынка гражданских авиационных двигателей [243].

Среди факторов, которые повлияют на рост рынка двигателей, предназначенных для летательных аппаратов, включая космические, выделяют следующие:

- Прогнозируется увеличение объемов производства небольших спутников и растущий спрос на разработку космических ракет-носителей многоразового использования [236].
- Помимо деятельности частных компаний, отмечается повышение активности со стороны космических агентств, что в свою очередь также может послужить стимулом к росту мирового рынка космического двигателестроения. В частности, Bloomberg со ссылкой на исследование BIS Research отмечает, что Индийская организация космических исследований (Indian Space Research Organisation, ISRO) достигла значительных результатов в разработке электрической спутниковой космической установки, а Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США (НАСА), в сотрудничестве с несколькими частными компаниями разрабатывает пере-

довые двигательные установки для полетов в дальнем космосе. В августе 2018 года НАСА заключило контракты с шестью компаниями, включая SSL, Blue Origin и Aerojet Rocketdyne, на общую сумму $ 44 млн на разработку усовершенствованной двигательной установки [244].

- Прогнозируемый к следующему десятилетию растущий спрос на авиаперевозки по всему миру обусловит увеличение поставок самолетов, что, в свою очередь, послужит стимулом к развитию рынка авиационного двигателестроения.

Отмечается, что на динамику рынка двигателей, предназначенных для авиакосмической техники, значительное влияние окажут инвестиции, направленные на разработку более экономичных и энергоэффективных силовых установок.

В настоящее время наиболее востребованными являются двигатели компактные по размеру, легкие по весу и экономичные с точки зрения потребления топлива. Одной из технологических тенденций, распространенных среди компаний-производителей, является применение 3D-печати в производстве авиационных двигателей и компонентов, что позволяет снизить общий вес продукта и улучшить показатели энергоэффективности [240].

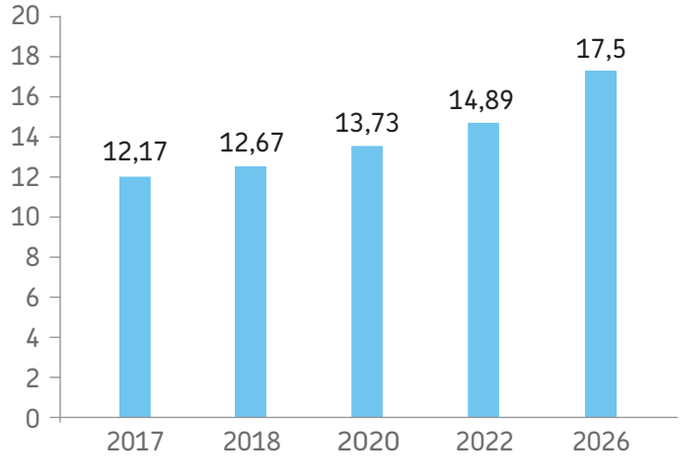
Ужесточение экологических требований и норм также стимулирует инвестиции в исследования и разработки передового производства. Так, Консультативный совет по исследованиям в области аэронавтики в Европе (The Advisory Council for Aviation Research and innovation in Europe, ACARE) обозначил ряд задач, которые необходимо решить к 2050 году: сокращение выбросов углекислого газа на 75%, снижение шума на 65% и сокращение выбросов оксида азота на 90%. Таким образом, инвестиции в разработку новых решений в области двигателестроения, отвечающих экологическим требованиям, также будут стимулировать рост рынка в будущем [240].

Судовые двигатели

В 2018 году по оценке Fortune Business Insights, объем мирового рынка судовых двигателей составил $ 12,05 млрд. К 2026 году глобальные объемы выручки могут достигнуть $ 17,09 млрд при ожидаемом среднегодовом темпе прироста 4,58% [245].

По состоянию на 2019 год, в соответствии с данными MarketsAndMarkets Research, объемы рынка судового двигателестроения достигли $ 14 млрд. При среднегодовом приросте на уровне 3,11% к 2024 году доходы на мировом рынке судовых двигателей достигнут $ 16,4 млрд [246].

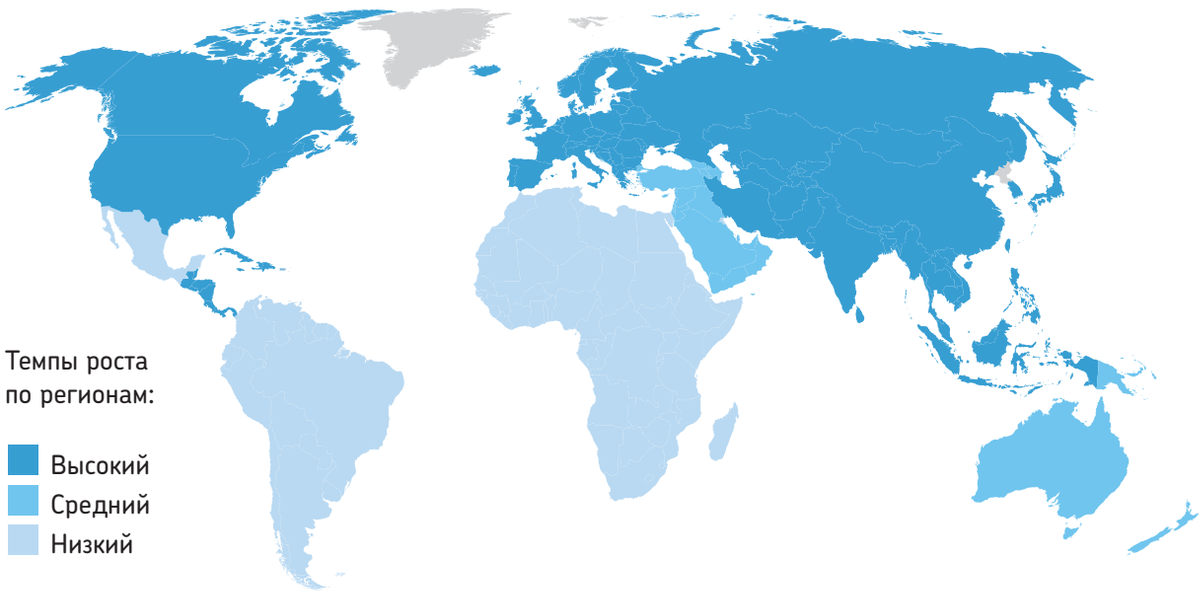
Рисунок 59. Динамика и прогноз объемов мирового рынка судовых двигателей по оценке Profshare Market Research (2017–2026 годы, $ млрд)



Источник: «Ожидается, что к 2026 году рынок судовых двигателей достигнет $ 17,5 млрд при среднегодовом темпе роста 4,2%», Profshare Market Research, 2018 [247]

Азиатско-Тихоокеанский регион в настоящее время лидирует на рынке судового двигателестроения, и ожидается, что регион сохранит эту позицию в будущем. Это объясняется тем, что такие страны, как Китай, Республика Корея и Япония, являясь крупными производственными центрами, зависят от внешней торговли преимущественно посредством морских перевозок. Рост морской торговли привел к увеличению спроса на суда, которые используются для перевозки промышленных товаров в различные регионы мира. Таким образом, увеличение количества судов способствовало росту спроса на двигательные установки в Азиатско-Тихоокеанском регионе [248]. По итогам 2018 года на долю региона пришлось около 42,6% общемировых доходов в судовом двигателестроении, что составило примерно $ 5,13 млрд [245].

Рисунок 60. Прогноз темпов роста рынка судовых двигателей в разных регионах мира (2021–2026 годы)



Источник: «Рынок судовых двигателей. Рост, статистика, отраслевой прогноз на 2021–2026 гг.», Mordor Intelligence, 2020 [248]

Среди факторов, которые в ближайшем будущем будут стимулировать рост рынка судового двигателестроения – дальнейшее расширение масштабов морской международной торговли, которое приведет к увеличению спроса на гражданские морские суда, а также развитию сферы морского туризма. Так, например, Mordor Intelligence отмечает, что в период 2013–2018 годов спрос на круизы вырос на 20,5% [248].

В настоящий момент основная часть выручки приходится на производство двигателей, работающих на дизельном топливе. Тем не менее, ожидается, что доля этого сегмента в общем объеме рынка судовых двигателей будет сокращаться в будущем [249].

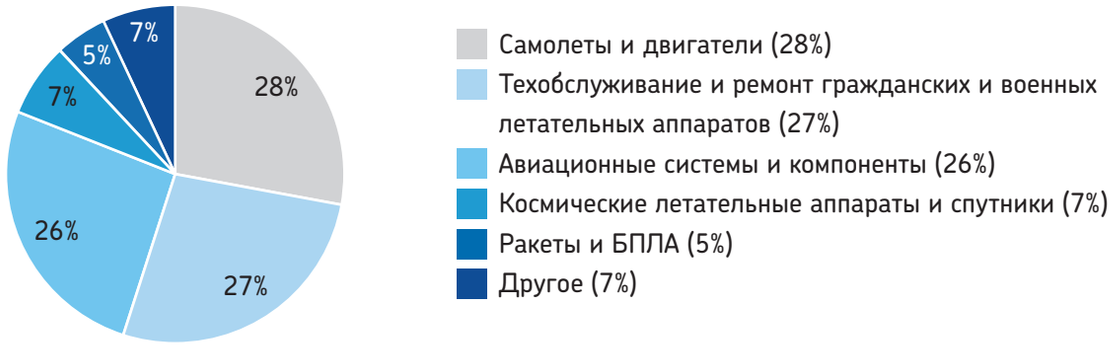
Как для рынка двигателестроения в целом, так и для производства судовых двигателей в частности, характерен переход к более топливосберегающим и экологически чистым технологиям. Вследствие этого, на рынке судового двигателестроения набирают популярность двигатели, работающие на газе, а также на энергии, полученной из альтернативных источников. Внедрение регулирования в зонах контроля выбросов (Emission Control Area, ECA) во всем мире стимулирует инвестиции в морские гибридные двигательные установки [249]. Как отмечает Fortune Business Insights, в мире растет популярность двух- и трехтопливных двигателей, поскольку они позволяют снижать выбросы парниковых газов в атмосферу, а также являются более гибкими и адаптируемыми к изменениям морских экологических норм [245]. Значительно сокращая выбросы, гибридные двигатели обеспечивают снижение затрат на топливо на 20% [250].

3.5. Рынок авиастроения и ракетно-космической техники

По данным AeroDynamic Advisory and Teal Group, мировая выручка аэрокосмической отрасли (Global Aerospace Industry) в 2017 году составила $ 838 млрд. При оценке в понятие «аэрокосмическая отрасль» были включены все виды деятельности, связанные с разработкой, производством и обслуживанием самолетов, а также космических кораблей (авиастроение, производство космических аппаратов, производство ракет и беспилотных летательных аппаратов, включая производство двигателей, деталей, бортовой электроники, тренажеров и наземного оборудования; техническое обслуживание и ремонт; исследования и разработки) [251].

Наибольшую выручку в отрасли в 2017 году принесли производство самолетов и двигателей (около $ 235 млрд), услуги технического обслуживания и ремонта (около $ 226 млрд), а также производство бортовых систем и компонентов (около $ 218 млрд) [251].

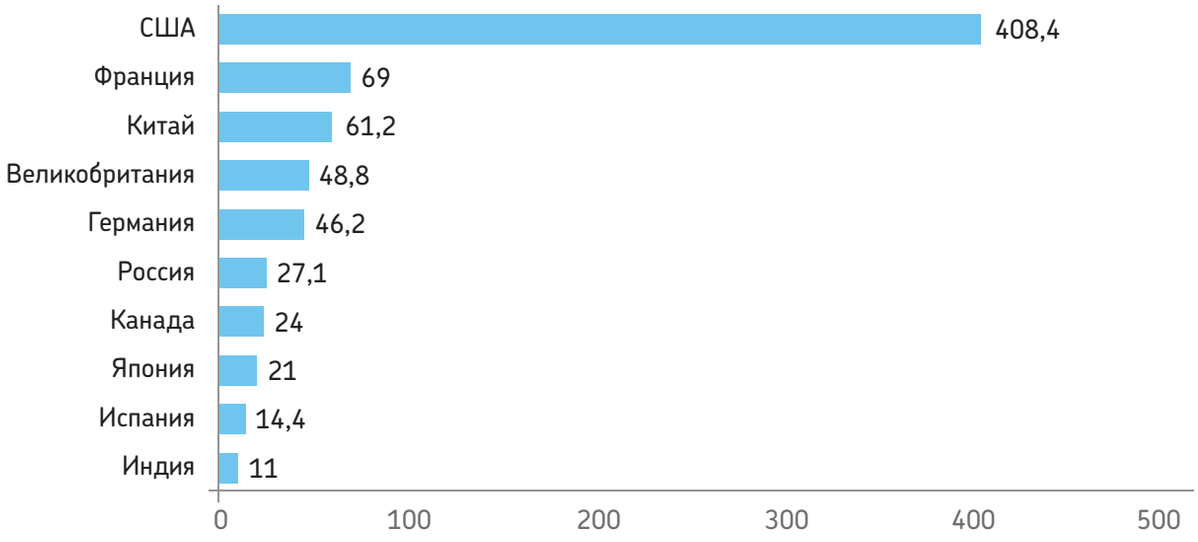
Рисунок 61. Сегменты аэрокосмической отрасли по объему выручки (2017 год)



Источник: «Мировая аэрокосмическая промышленность: рейтинг по размерам и странам», AeroDynamic Advisory&Teal Group, 2017 [251]

Совокупная выручка 10 стран–лидеров аэрокосмической отрасли составила в 2017 году $ 731 млрд – 87% общего объема рынка. При этом на долю США пришлось около 49% [251].

Рисунок 62. Топ-10 стран по выручке в аэрокосмической отрасли (2017 год, $ млрд)



Источник: «Мировая аэрокосмическая промышленность: рейтинг по размерам и странам», AeroDynamic Advisory&Teal Group, 2017 [251]

The Business Research Company включает в понятие мирового рынка аэрокосмической техники (Aerospace Global Market) производство коммерческих воздушных судов, техобслуживание и ремонт воздушных судов, производство вспомогательного оборудования (радиолокаторы, контрольно-диспетчерские пункты управления воздушным движением и спутники и др.). Согласно прогнозу The Business Research Company, в период с 2014 по 2022 год среднегодовые ожидаемые темпы роста (CAGR) рынка аэрокосмической техники составят 10,1%, вследствие чего к 2022 году показатели выручки на этом рынке могут достигнуть $ 526,1 млрд [252].

Объем мирового рынка авиастроения (Global Market for Aircraft Manufacturing), по оценке BCC Research, в 2017 году составил $ 468,1 млрд. Ожидается, что при среднегодовом росте (CAGR) 3,7% к 2022 году доход на рынке вырастет до отметки $ 562,5 млрд [253].

По расчетам аналитиков Teal Group, в 2018 году общий объем производства самолетов в мире вырос всего на 1,9% по сравнению с 2017 годом. Отмечается, что выручка в сегменте военных самолетов увеличилась примерно на 7,6%, в сегменте узкофюзеляжных самолетов – почти на 20%. Во всех остальных сегментах рынка наблюдалось снижение объемов выручки, что предопределило низкий прирост по всему рынку в целом. Выручка в сегменте широкофюзеляжных самолетов упала на 6,3%, в сегменте региональных (ближнемагистральных) самолетов – на 6,5%; служебных самолетов (бизнес-самолетов) – на 3,6%, производство военно-транспортных самолетов сократилось на 5,2% [254].

В региональном разрезе по итогам 2018 года Северная Америка с долей в 54% стала лидирующим рынком аэрокосмической продукции. Вторую позицию по объему выручки занял Азиатско-Тихоокеанский регион, на его долю пришлось 18% рынка [254].

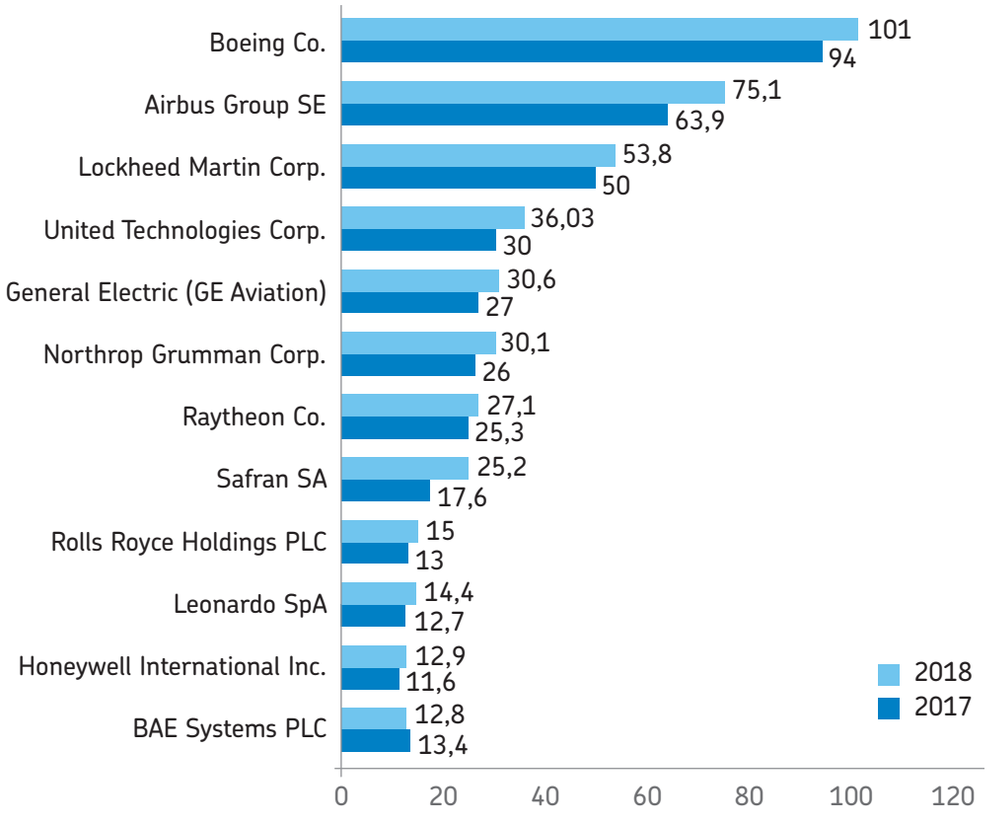
В числе ведущих производителей авиастроительной отрасли заметно преобладают американские компании. По итогам 2018 года лидером по размерам выручки стала компания Boeing Co. В пятерку крупнейших поставщиков также вошли Airbus Group SE, Lockheed Martin Corp., United Technologies Corp., General Electric (GE Aviation), при этом можно отметить, что позиции компаний в рейтинге по объему выручки не изменились в сравнении с 2017 годом [255].

Количество сделок по слиянию и поглощению в авиакосмической отрасли в 2018 году увеличилось на 35% и составило около 150 ед. [254].

В 2018 году Boeing Co и Airbus Group SE произвели в сумме 1606 самолетов. Компания Bombardier покинула сегмент коммерческого авиастроения, а Embraer была приобретена компанией Boeing Co. Вследствие этого, как отмечают аналитики AlixPartners, монопольное положение двух производителей – Boeing Co и Airbus Group SE – на рынке коммерческих самолетов в 2018 году укрепилось больше, чем когда-либо ранее [256]. По данным Statista, 65% самолетов мирового авиапарка приходится на долю этих двух компаний [255]. Согласно прогнозам Frost&Sullivan, в ближайшем будущем увеличение объемов производства Boeing Co и Airbus Group SE будет продолжаться, по крайней мере до 2021 года, когда предполагается достижение предела роста [254].

Statista прогнозирует возможное сокращение производства военных самолетов, в то время как производство гражданских самолетов будет увеличиваться в связи с возрастающим спросом на пассажирские перевозки и поставки самолетов [255]. При этом отмечается, что главным фактором, стимулирующим увеличение воздушного трафика, станет растущий спрос на перевозки в Азиатско-Тихоокеанском регионе за счет роста доходов населения и формирования среднего класса в ряде развивающихся регионов мира [257].

Рисунок 63. Выручка ведущих мировых производителей и поставщиков самолетов (2017–2018 годы, $ млрд)



Источник: Statista, 2020 [255]

На сегодняшний день на долю Азиатско-Тихоокеанского региона приходится 40% спроса на самолеты (около 16 930 поставок) [257]. В 2018 году почти 50%, или 2 млрд человек, в Азиатско-Тихоокеанском регионе могли быть отнесены к среднему классу. В 2038 году, согласно прогнозам, этот показатель возрастет до 72%, или до 3,3 млрд человек. Ожидается, что по мере увеличения благосостояния населения возрастет и спрос на авиаперевозки [258].

Airbus предполагает, что в период с 2019 по 2038 год объем воздушных перевозок будет увеличиваться на 4,3% в год, что потребует около 39 200 новых пассажирских и грузовых воздушных судов [258]. Boeing прогнозирует, что возникнет потребность в 42 730 новых самолетах для удовлетворения растущего пассажиропотока и компенсации предстоящего вывода из эксплуатации части самолетов сегодняшнего авиапарка [257].

Фактором снижения объемов производства со стороны конечных производителей самолетов и космических аппаратов может стать сохраняющаяся тенденция задержек в поставках двигателей, фюзеляжей, элементов внутренней компоновки летательных аппаратов и других компонентов, которая наблюдалась в 2018 году, что, в свою очередь, привело к задержкам поставок Boeing 737 и Airbus A320 [259].

На рынке авиастроения и ракетно-космической техники наблюдаются следующие тенденции:

- Внедрение нового поколения электрических самолетов с использованием электрических систем и компонентов (More Electric Aircraft, MEA), которое должно привести к постепенному переходу на полностью электрические самолеты (All-Electric Aircraft, AEA). Ожидается, что такие факторы, как потребность в топливосберегающих технологиях, а также необходимость снижения расходов на приобретение и сокращения затрат,

связанных с эксплуатацией оборудования, в ближайшем будущем будут стимулировать спрос на электрические самолеты [257].

- Использование потенциала цифровых технологий (3D-печать, цифровые двойники, Интернет вещей, искусственный интеллект) остается для производителей сложной задачей. Согласно исследованию Accenture, только 38% опрошенных руководителей компаний аэрокосмической отрасли считают, что инвестиции, вложенные в цифровые технологии за последние три года, обеспечивают их компании достижение целевого уровня темпов производства. Тем не менее производители аэрокосмической отрасли склонны считать, что внедрение цифровых технологий обладает перспективами в области снижения затрат. Более половины опрошенных руководителей предприятий отрасли (59%) ожидают сокращения издержек на 20–40%. При этом отмечается, что наряду с инвестированием в цифровые технологии компаниям необходимо обратить внимание на подготовку квалифицированных кадров и повышение готовности трудовых ресурсов к использованию новых технологических решений. Сочетание данных мер позволит реализовать более широкое распространение цифровых технологий и эффективное использование их преимуществ. Accenture отмечает, что происходит смещение акцента от традиционных инженерных навыков в сторону новых цифровых навыков. По мнению 29% опрошенных руководителей компаний аэрокосмической промышленности и ОПК, кибербезопасность, инжиниринг производственных процессов (Manufacturing Process Engineering) и искусственный интеллект входят в тройку основных технологических аспектов, в области которых на данный момент необходимо повышать квалификацию для достижения текущих и запланированных показателей производства [260].

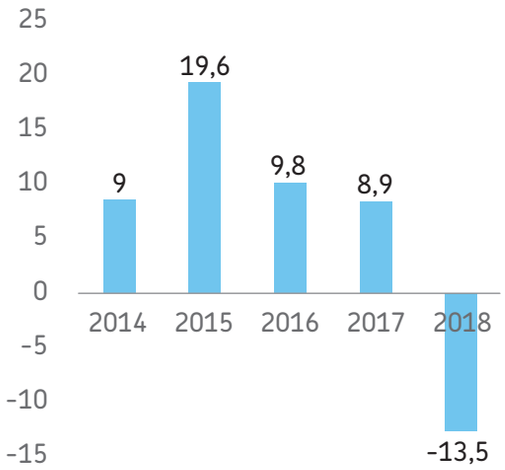
- Использование передовых технологий анализа данных для обеспечения предсказательного технического обслуживания (Predictive Maintenance). Авиакомпании стремятся значительно сократить число незапланированных приостановок эксплуатации воздушных судов. Цель состоит в том, чтобы обеспечить возможность предсказания нарушений в работе летательных аппаратов и снизить число незапланированных сбоев в работе, осуществляя плановое техническое обслуживание. Авиакомпании намерены измерять и давать количественную оценку последствий прекращения полета воздушного судна по техническим причинам в качестве еще одного показателя эффективности в дополнение к эксплуатационной надежности (Operational Reliability) [258].

Российский рынок авиастроения

В 2018 году на российском рынке летательных аппаратов было зафиксировано снижение производства на 13,5% по сравнению с предыдущим годом. Доходы авиационной промышленности упали на 12,7%, производство ракетно-космической техники снизилось примерно на 4,1%. Снижение показателей продолжилось и в первом квартале 2019 года: по данным «Росстата» наблюдалось сокращение производства на 42,3% в сравнении с аналогичным периодом 2018 года [261].

При этом в период 2014–2017 годов производство в авиационной и космической отрасли увеличивалось на 9–20% в год. Наибольший прирост наблюдался по итогам 2015 года и составил более 19% [262].

Рисунок 64. Динамика снижения/роста к предыдущему году производства летательных аппаратов и соответствующего оборудования (2014–2017 годы, %)



Источник: «Производство самолетов, космических кораблей и ракет рухнуло в 2018 году», РБК, 2019 [263]

Отмечается, что сокращение выпуска продукции на российском рынке авиастроения вызвано следующими факторами:

- санкции в отношении поставок товаров двойного назначения на российский рынок (в том числе комплектующих для летательных аппаратов) и необходимость поиска поставщиков из стран Юго-Восточной Азии или замены необходимых компонентов отечественными аналогами;
- сокращение государственного заказа на поставку авиации военного назначения в связи с достижением целевых показателей (доведение к 2020 году доли современного вооружения и техники до 70%) и завершением программы перевооружения российской армии [264].

Согласно Прогнозу социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 года, фактором, стимулирующим рост отечественного рынка авиастроения, должно стать развитие сегмента авиации гражданского назначения [265].

В 2017 году Россия обеспечивала около 1% мирового производства гражданской продукции авиастроительной индустрии. Экспорт гражданской авиации составил около $ 0,5 млрд. К 2024 году планируется обеспечить экспортные поставки в размере $ 4,42 млрд [266]. Базовый сценарий Стратегии развития экспорта гражданской продукции авиационной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года предполагает реализацию экспорта гражданской продукции авиастроения в объеме $ 3,463 млрд к 2025 году.

Рисунок 65. Динамика и прогноз доли поставок российских самолетов на мировом рынке самолетов гражданской авиации (2011–2025 годы, %)

Источник: Постановление от 31 марта 2017 г. № 379 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013 - 2025 годы», Минпромторг России, 2017 [267]

В настоящее время основную долю в общем количестве отечественных летательных аппаратов гражданского назначения занимает самолет «Sukhoi Superjet 100» (SSJ100), производимый компанией «Гражданские самолеты Сухого». Кроме того, в настоящее время в сегменте магистральной гражданской авиации на российском рынке присутствуют самолеты МС-21, Ил-96, Ту-204, Ту-214. Что касается вертолетов, то здесь доминируют «Ка», «Ми», «Ансат» [268].

Таблица 20. Производство гражданских пассажирских воздушных судов в России (2010–2017 годы, шт.)

Тип воздушного судна	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ИЛ-96-300Т, 400Т	0	0	2	1	0	0	0	0
Ту-154М	1	0	0	0	0	0	0	0
Ту-204, 204С, 204-300, 204-120	4	2	0	0	0	0	0	1
Ту-214	1	2	2	2	2	0	0	2
Ан-140	0	0	0	0	0	0	0	0
Ан-148	4	2	4	4	0	0	0	2
SSJ-100	0	5	12	25	35	17	22	34
ВСЕГО	10	11	20	32	37	17	22	39

Источник: «Рынок продукции гражданского авиастроения», НИУ ВШЭ, 2018 [268]

На сегодняшний день особое внимание уделяется проекту разработки ближне- и среднемагистрального самолета МС-21. Семейство самолетов нового поколения МС-21 ориентировано на самый массовый сегмент мирового рынка авиалайнеров.

Рисунок 66. Семейство ближне- и среднемагистральных самолетов МС-21

Источник: «С 2021 года российские авиакомпании получат около 200 самолетов МС-21», Российская газета, 2019 [269]

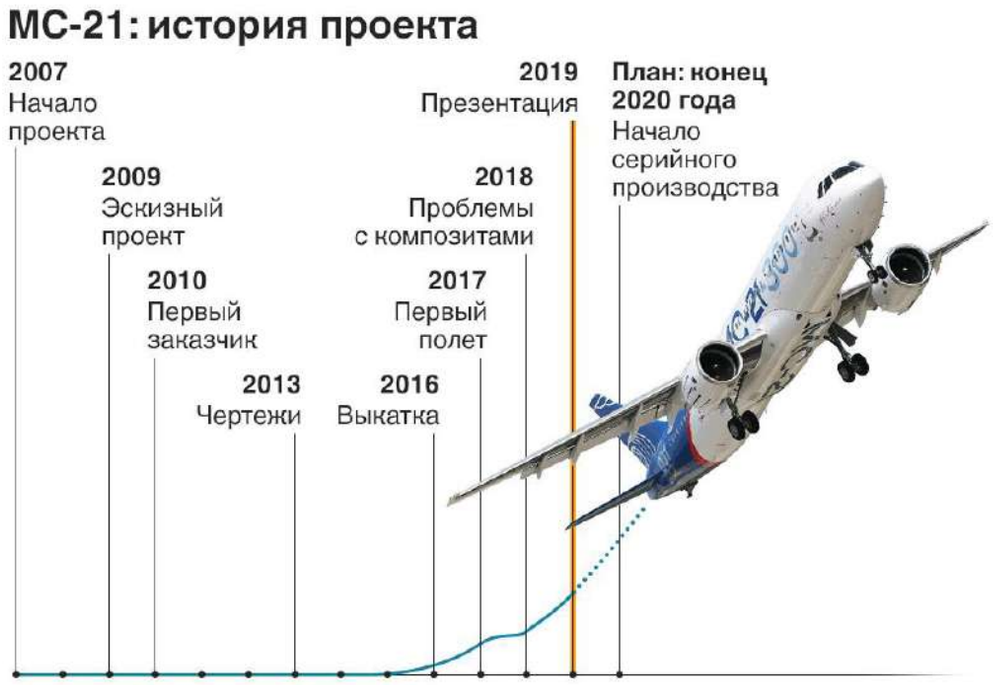
В рамках программы разрабатываются самолеты МС-21-300 (160–211 мест) и МС-21-200 (130–176 мест) [270]. Среди преимуществ проекта отмечается, что при его производстве значительно сократится доля иностранных комплектующих (по сравнению с SSJ100), на сегодняшний день для данной модели сертифицирован современный российский двигатель семейства ПД-14 [271]. Ожидается, что к 2022 году уровень локализации компонентов может составить около 97%, тем самым будет обеспечена независимость производства от зарубежных поставок [272].

Рисунок 67. Самолет МС-21: материалы и основные производители

Источник: «Самолет МС-21 впервые представили публике. Кем и из чего он сделан?», BBC, 2019 [272]

Начало этапа серийного производства планируется на конец 2020 – начало 2021 года [271].

Рисунок 68. Этапы реализации проекта разработки самолета МС-21



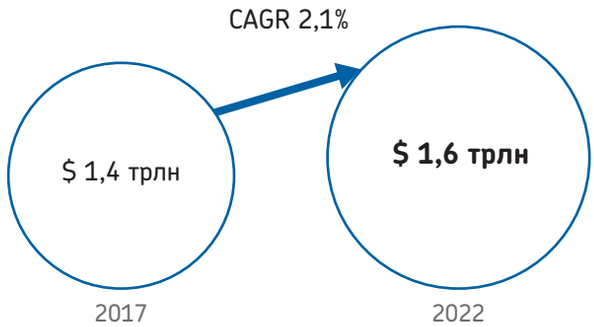
Источник: «Самолет МС-21 впервые представили публике. Кем и из чего он сделан?», BBC, 2019 [272]

3.6. Рынок машиностроения

Рынок машиностроения включает производство машин и оборудования общего назначения, а также атомное, нефтегазовое, тяжелое, специальное и железнодорожное машиностроение.

Согласно прогнозу IHS Markit, в период с 2017 по 2022 год среднегодовые темпы роста (CAGR) мирового рынка машиностроения составят 2,1%, что в результате приведет к увеличению объема рынка до $ 1,6 трлн в 2022 году [273].

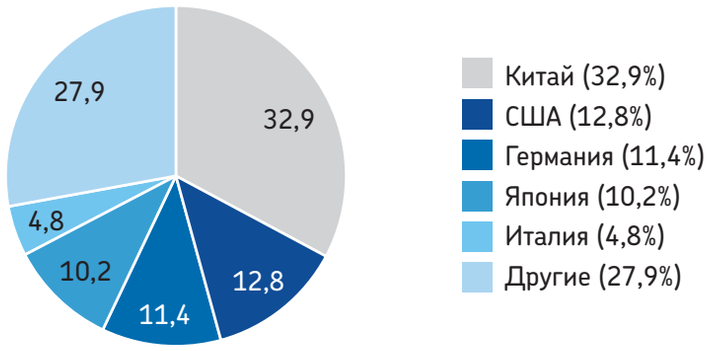
Рисунок 69. Темпы роста мирового рынка машиностроения по версии IHS Markit



Источник: «Мировая выручка от производства оборудования достигнет $ 1,6 трлн в 2022 году», IHS Markit, 2019 [273]

По оценке VDMA, в 2018 году рынок машиностроения вырос на 4%, достигнув совокупного объема в 2,6 трлн евро [274]. VDMA отмечает, что в 2018 году 72% рынка машиностроения приходились на пять стран: Китай, США, Германию, Японию, Италию [275]. В середине 2019 года VDMA зафиксировал, что за первые пять месяцев количество заказов в машиностроительной отрасли снизилось на 9% в сравнении с аналогичным периодом 2018 года. Загрузка производственных мощностей в апреле 2019 года достигала 87,4% [274].

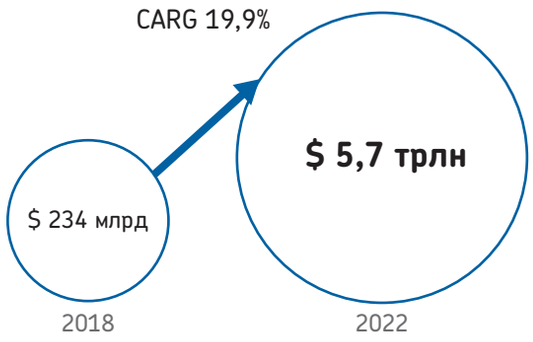
Рисунок 70. Доли стран на рынке машиностроения в 2018 году (%)



Источник: «Задача машиностроения России - догнать и перегнать Финляндию», VDMA, 2019 [275]

The Business Research Company ожидает, что к 2022 году объемы рынка машиностроения достигнут $ 5705,91 млрд, среднегодовые совокупные темпы роста (CAGR) составят 19,9%. На рост рынка машиностроения повлияют высокий спрос на оборудование общего назначения (насосы, компрессоры, подъемники и др.) и инвестиции в сельское хозяйство, строительство и электроэнергетику [276].

Рисунок 71. Темпы роста мирового рынка машиностроения по версии The Business Research Company

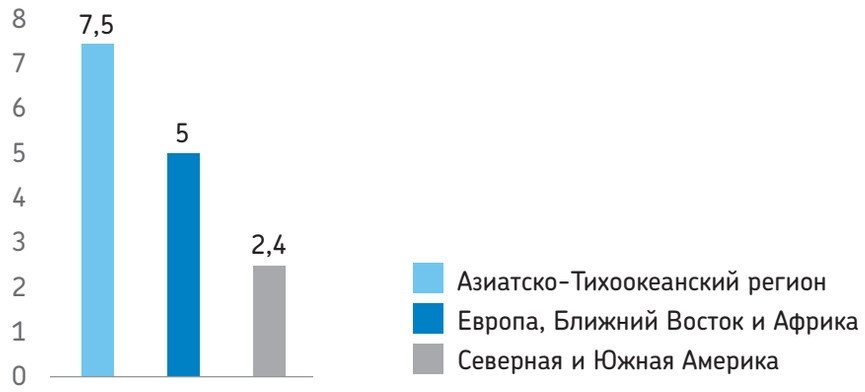


Источник: «Мировой рынок машиностроения», The Business Research Company, 2020 [276]

В отчете Interact Analysis, посвященном состоянию ключевых секторов интеллектуальной автоматизации на начало 2020 года, отмечается, что в 2019 году, несмотря на незначительный спад промышленного производства в целом, на рынке машиностроения наблюдался рост объемов производства. Увеличение объемов рынка стало продолжением тенденции, наметившейся в предыдущие периоды. В 2007–2018 годах среднегодовые темпы роста глобального рынка машиностроения составляли 5%, но значительно различались по регионам: в Азиатско-Тихоокеанском регионе темп составил 7,5%, в Северной и Южной Америке – 5%, в Европе, на Ближнем Востоке и в Африке – 2,4% [277].

Businesswire отмечает, что в 2018 году крупнейшим регионом мирового рынка машиностроения стал Азиатско-Тихоокеанский, на его долю пришлось 45%. На втором месте расположилась Западная Европа (21%). Наименьшая доля рынка приходится на Африку (2%). Среди важнейших тенденций на рынке машиностроения Businesswire выделяет перенос производственных площадок из развивающихся стран ближе к потребительским рынкам из-за растущих транспортных расходов и повышения сложности осуществления контроля качества производимой продукции. Так, в 2015 году большая часть производственных площадок была перенесена General Electric (GE) из Китая обратно в США [278].

Рисунок 72. Среднегодовые темпы роста мирового рынка машиностроения по регионам в 2007–2018 годах (%)



Источник: «Перспективы производства в 2020 году», Interact Analysis, 2020 [277]

Interact Analysis зафиксировало в регионах в 2019 году различные наметившиеся тенденции динамики развития рынка машиностроения. В Северной Америке машиностроительная отрасль растет низкими темпами, поэтому предполагается, что в отрасли скоро наступит период спада. В то же время страны Южной Америки, такие как Бразилия и Чили, демонстрируют устойчивый рост. В большинстве европейских стран наблюдается снижение темпов роста или совсем незначительный рост. Германия, являясь лидером машиностроительной отрасли в Европе, первая столкнулась со спадом в производстве. Китай остается крупнейшим производителем машиностроительной продукции, однако отмечается, что производство машин в Китае фактически сократилось на 3,1% 2019 году в сравнении с предыдущим годом. В Республике Корея и Японии также был отмечен спад производства [277].

Interact Analysis подразделяют машиностроительный рынок на три ключевых сегмента в зависимости от производимого оборудования:

- Производственное оборудование узкого назначения (Dedicated Machinery) для одной конкретной отрасли (например, оборудование для производства пищевых продуктов и напитков, полупроводников и электронных изделий).
- Производственное оборудование широкого назначения (Multi-industry Machinery) для конечных потребителей из различных отраслей (например, станки и подъемно-транспортное и погрузочно-разгрузочное оборудование).
- Непроизводственное оборудование (Non-Manufacturing Machinery), которое непосредственно не задействовано в производственном процессе (например, сельскохозяйственная техника, системы отопления, вентиляции и кондиционирования).

Самые быстрые среднегодовые темпы роста в период 2007–2018 годов продемонстрировало машиностроение, производящее оборудование узкого назначения (6%), однако данный сегмент машиностроения имеет цикличный характер развития, так как зависит от производительности связанных с ним отраслей промышленности. Самый низкий рост наблюдался в машиностроении, специализирующемся на оборудовании широкого назначения (3,7%) [277].

IHS Markit считает, что ключевыми инновациями, которые уже внедряются машиностроительными компаниями и обеспечат в ближайшем будущем конкурентное преимущество, являются технологии искусственного интеллекта (Artificial intelligence, AI) и автоматически управляемых транспортных систем (Automated guided vehicles, AGVs).

Автоматически управляемые транспортные системы необходимы для загрузки, выгрузки и перевозки грузов внутри цехов. Операции, которые выполнялись несколькими квалифицированными работниками, могут выполнены одной AGV с роботизированной рукой. Системы искусственного интеллекта используются для непрерывной настройки и оптимизации режущих станков без участия человека в режиме реального времени. Системы способны регулировать процессы охлаждения и энергопотребления, что способствует сокращению расходов за счет снижения количества отходов и уменьшения количества потребляемой энергии [273].

The Business Research Company также выделяет среди ключевых драйверов машиностроительной отрасли развитие робототехники автоматизации в целом и автоматически управляемых транспортных систем в частности [276].

По версии MaschinenMarkt International, основными рынками машиностроения являются Европа, Китай, США и Япония. Европейский союз является крупнейшим в мире экспортером машин и оборудования. Статистические данные, предоставленные Европейской комиссией, свидетельствуют о том, что на долю машиностроения приходится 9,5% от всего производства в обрабатывающей промышленности Европейского союза. С точки зрения количества предприятий, занятости населения, производительности и создания добавленной стоимости машиностроение – одна из крупнейших отраслей в экономике Европейского союза.

Германия является ведущей страной ЕС в машиностроении. В конце 2018 года Федеральная служба статистики Германии (Germany Federal Statistical Office) сообщала, что производство в машиностроительной отрасли увеличилось на 5,2%, или на 6,5 млрд евро, и достигло 131,9 млрд евро в сравнении с 2017 годом. В дополнение к этому, в отчете крупнейшей отраслевой ассоциации Европы VDMA отмечается, что производители машиностроительной продукции Германии зафиксировали увеличение экспорта на 3,9% (до 43,8 млрд евро) в третьем квартале 2018 года [279].

Китай является крупнейшим производителем машиностроительной продукции и занимает второе место по объемам экспорта (на первом месте – Германия). Согласно данным, опубликованным Китайской федерацией машиностроения (China Machinery Industry Federation), общий объем экспорта машиностроительного сектора страны в 2017 году составил $ 406 млрд (+8,33%) в сравнении с 2016 годом, а импорт за тот же год вырос на 12,31% до $ 306,3 млрд. Представители отрасли прогнозировали 7% рост экспорта в 2019 году. В качестве главного драйвера развития отрасли в Китае выделяются многочисленные субсидии, предоставляемые машиностроительным компаниям в рамках программы «Сделано в Китае 2025» (Made in China 2025) [279].

Согласно Statista, в 2017 году рынок машиностроения в США оценивался в $ 401,6 млрд, Основным драйвером развития машиностроения в США являются технологические инициативы, разработка передового производственного оборудования. VDMA считает, что США остаются крупнейшим экспортным рынком для немецкой техники, экспорт в США увеличился на 11,6% до 18 млрд евро в прошлом году [279].

Крупным рынком машиностроения остается Япония, известная высоким качеством продукции. Согласно данным Министерства экономики, торговли и промышленности Японии, заказы в машиностроительной отрасли упали на 18,3% в сентябре 2018 года после 6,8% роста в августе. Развитию машиностроительной Японии способствуют инициатива «Связанной промышленности» («Connected Industry»), направленная на трансформацию традиционного производства в современное. Сфера передовых производственных технологий в целом является одним из ключевых растущих секторов экономики Японии. Ожидается, что в 2020 году рынок передовых производственных технологий Японии достигнет $ 270 млрд [279].

Рынок машиностроения в России

По оценке VDMA, в 2018 году Россия заняла 23-е место в мире по объему произведенной машиностроительной продукции. Доля России в мировом машиностроении снизилась до 0,6%. На 20-м и 21-м местах с долей 0,7% перед Россией расположились Сингапур и Финляндия. На 22-м месте с результатом, равным российскому, расположилась Чехия, статистическое отставание объясняется ослаблением курса рубля по отношению к евро. За Россией следуют Бельгия, Польша, Таиланд [275].

Global Markets International отмечает, что машиностроительное производство России в 2018 году увеличилось на 3,6%, чему во многом способствовали правительственные субсидии. По данным Global Markets International, в России в 2018 году производство металлорежущих станков увеличилось на 2,6% в натуральном выражении, производство кузнечных машин – на 5,5%. Стратегия развития станкоинструментальной промышленности до 2030 года, разработанная в 2017 году, направлена на увеличение объема продаж станков с 1,3 млрд до 1,8 млрд евро. В сегменте производства оборудования для пищевой промышленности также был отмечен рост (+15%). Производство сельскохозяйственной техники в 2018 году несколько снизилось: производство тракторов упало на 2,1% рядовых сеялок – на 7,7%, несмотря на то, что спрос в отрасли остается значительным [280].

Согласно Global Markets International, количество российских компаний, заказывающих оборудование из-за рубежа, в 2018 году достигло уровня 2014 года. Основным импортируемым оборудованием является техника из Республики Корея, Японии и Тайваня. Иностранные компании в ответ на ужесточение политики импортозамещения создают местные производства, главным инвестором в 2018 году выступили немецкие производители [280].

В 2018 году экспорт российского машиностроения вырос на треть, в сравнении с результатами 2017 года, достигнув $ 29,1 млрд. Например, экспорт токарных станков увеличился на 71%, составив $ 14,4 млн, в качестве основного рынка сбыта выступила Индия [280].

Агентство СПАРК-Интерфакс зафиксировало на конец 2018 года в России около 700 производителей станков, 737 производителей сельскохозяйственной техники, 475 производителей строительной техники и 660 производителей оборудования для пищевой промышленности. По оценке Global Markets International десятью крупнейшими машиностроительными компаниями России являются:

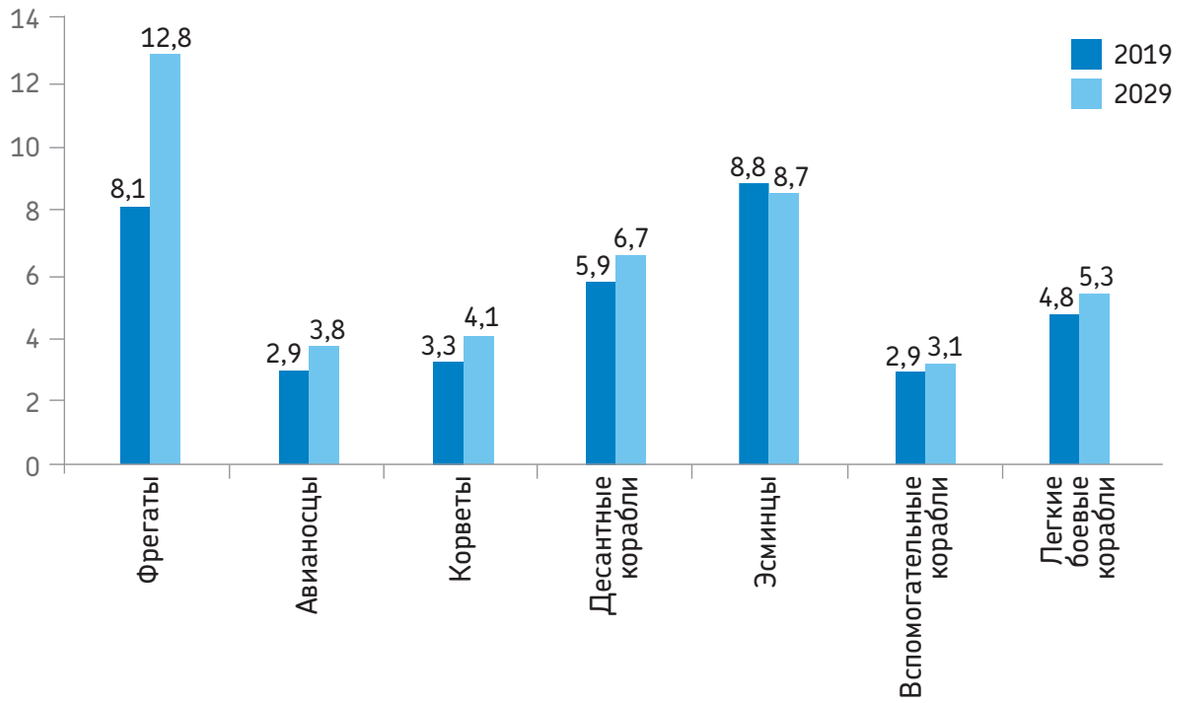
- АО «Производственное объединение «Севмаш» (судостроение);
- ПАО «ОДК-Уфимское моторостроительное производственное объединение» (двигателестроение);
- ПАО «Иркут» (авиастроение);
- АО «Объединенная судостроительная корпорация» (судостроение);
- АО «Метровагонмаш» (железнодорожная техника);
- ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (железнодорожная техника);
- АО «ГСС» (авиастроение);
- ПАО «Силовые машины» (двигателестроение);
- ОАО «Демиховский машиностроительный завод» (железнодорожная техника);
- ПАО «Северная верфь» (судостроение) [280].

3.7. Рынок судостроения и кораблестроения

Мировой рынок кораблестроения

Мировой рынок кораблестроения составил $ 40 млрд в 2018 году. При этом драйвером роста стала общая положительная динамика роста оборонных расходов по всему миру, достигших в 2018 году $ 1,8 трлн, основной рост обеспечен Индией, КНР и странами Ближнего Востока. По прогнозам, объем мирового рынка кораблестроения вырастет до $ 45 млрд к 2024 году, а среднегодовые темпы роста составят 1,8% [281].

Рисунок 73. Рынок кораблестроения, объем рынка по сегментам (2019 и 2029 годы, $ млрд)



Источник: «К 2029 году фрегаты станут самым быстрорастущим сегментом рынка надводных боевых кораблей», GlobalData, 2019 [282]

Наиболее высокими темпами будет расти рынок фрегатов за счет их многофункциональности, возможности в относительно короткие сроки нарастить количество этого типа кораблей в составе флота, к 2029 году их доля на рынке увеличится до 28,7% по сравнению с 22% в 2019 году [282].

Мировой рынок гражданского судостроения

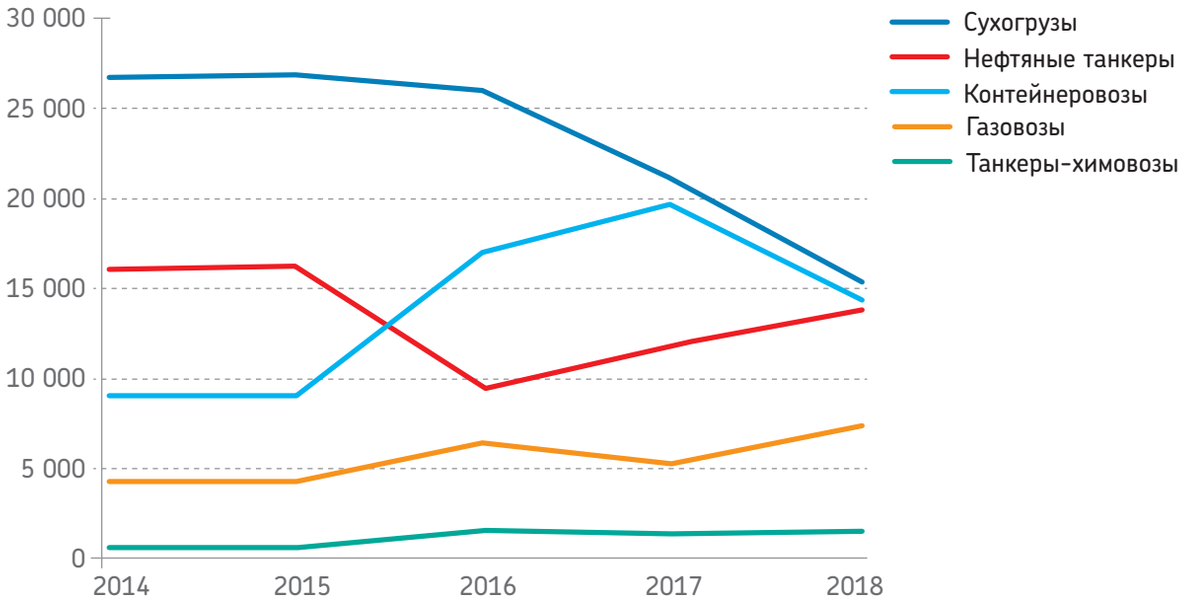
Объем мирового рынка гражданского судостроения составил в 2018 году $ 114 млрд. По прогнозу в 2025 году объем рынка достигнет $ 175 млрд, при этом среднегодовые темпы роста составят 5,7% [283]. Основным драйвером роста рынков судостроения является объем мировой морской торговли. В настоящий момент на рынке торговли наблюдается рецессия, рост в 2018 году составил 2,7% (меньше, чем в 2017 году, 4,1%). Причины кризиса – рецессия в некоторых развивающихся странах, последствия Брексита (выхода Великобритании из ЕС), торговая война КНР и США, возрастающие экологические требования [284].

Тренды развития мирового рынка судостроения

Консолидация рынка контейнерных перевозок – 10 крупнейших контейнерных перевозчиков увеличили свою долю на рынке с 68% в 2018 году до 90% в 2019 году, также происходит интеграция самих перевозчиков с портовыми терминалами, что также будет влиять на рынок.

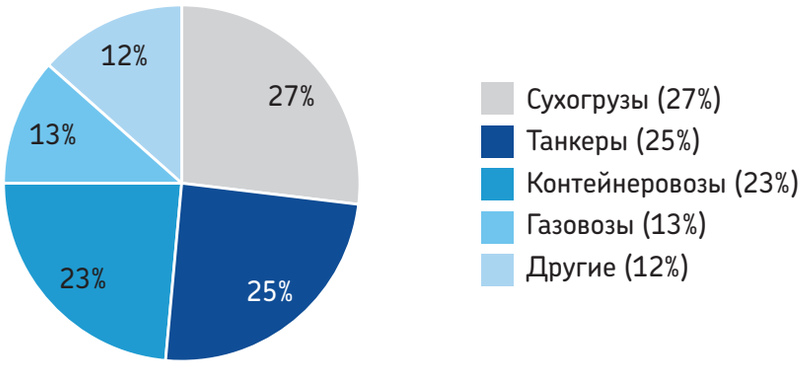
Сохранение избытка судов при замедлении прироста новых судов. Так, емкость флота составила 1,97 млрд тонн дедвейта. Прирост 2,61% – наиболее низкий за десятилетие. Наиболее быстрый рост продемонстрировал сегмент газовозов – 7,25% за 12 месяцев 2018 года за счет развития рынка сжиженного газа, также на 5% увеличился флот контейнеровозов [284].

Рисунок 74. Динамика заказов на суда разных типов (2014–2018 годы, валовая вместимость, тыс. тонн)



Источник: «Конференция ООН по торговле и развитию. Обзор морского транспорта», UNCTAD, 2019 [284]

Рисунок 75. Ввод новых грузовых судов в эксплуатацию в 2018 году



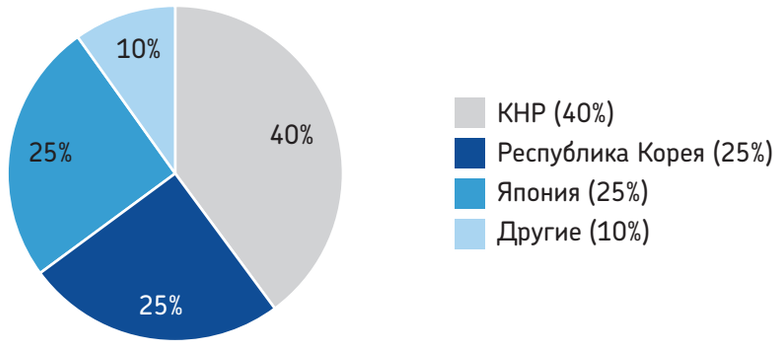
Источник: «Конференция ООН по торговле и развитию. Обзор морского транспорта», UNCTAD, 2019 [284]

Так, в 2018 году сухогрузы заняли наибольшую долю на рынке (27%), на втором месте – танкеры (25%), а на третьем – контейнеровозы (23%). С 2014 года отмечается тренд к росту количества контейнеровозов и газовозов, при этом доля танкеров и сухогрузов снижается, этот тренд можно объяснить высоким спросом на крупные контейнеровозы и переизбытком сухогрузов и танкеров в эксплуатации.

Структура и сегменты рынка судостроения

В общем объеме поставок лидерами в 2018 году являются такие страны, как КНР (40%), Республика Корея (25%), Япония (25%). На другие страны приходится только 10% мирового рынка гражданских судов. Бангладеш – лидер по разборке гражданских судов – 47,2% рынка [284].

Рисунок 76. Страны-лидеры по поставкам гражданских судов в 2018 году (%)



Источник: «Конференция ООН по торговле и развитию. Обзор морского транспорта», UNCTAD, 2019 [284]

Лидеры по строительству отдельных типов гражданских судов:

- КНР: 60% сухогрузов, 49% контейнеровозов, 45% судов для работы на шельфе, 47% судов для перевозки генеральных грузов.
- Республика Корея: 64% газовозов, 42% нефтяных танкеров.
- Япония: 45% танкеров-химовозов [284].

Таблица 21. Поставки судов по типам (2018 год, тысяч регистровых тонн)

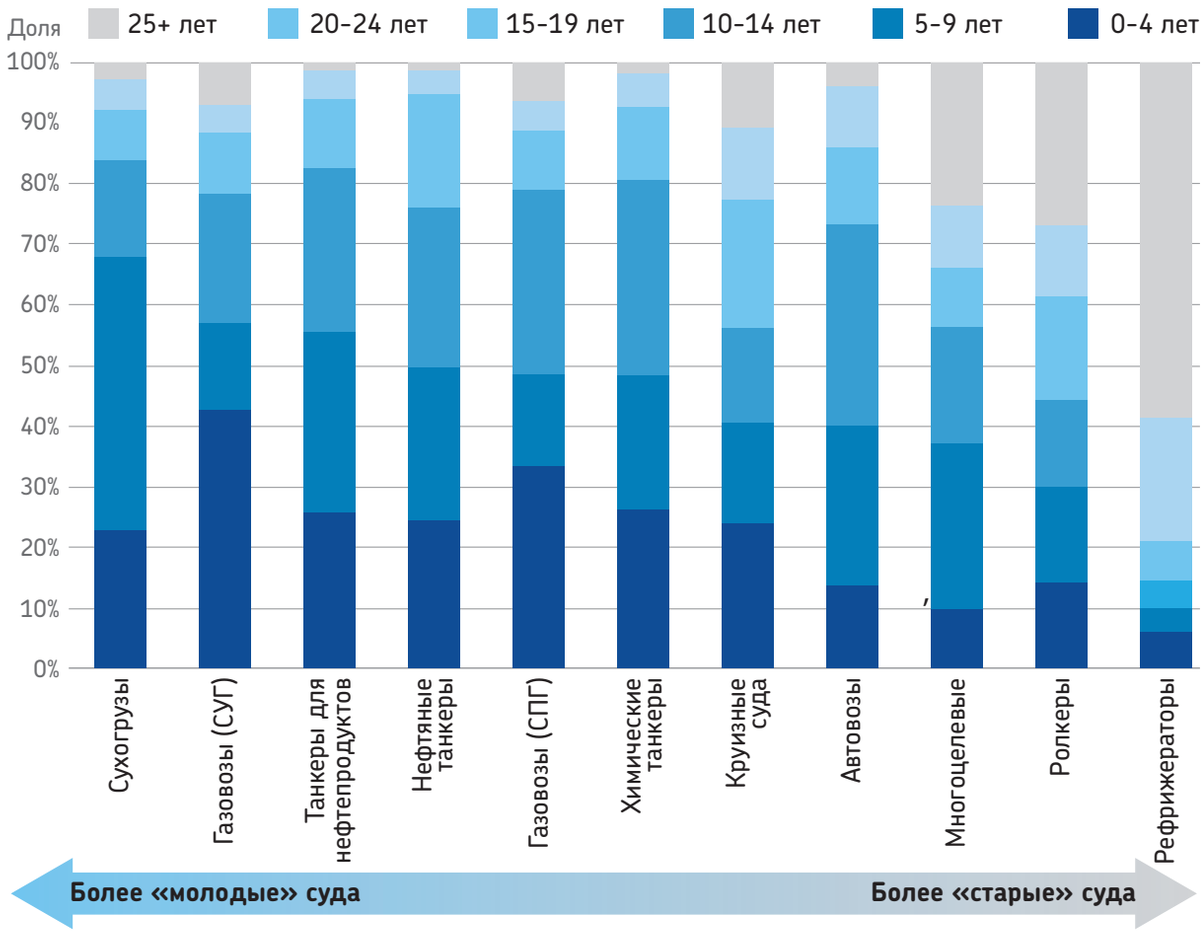
Тип судна	КНР	Япония	Филиппины	Республика Корея	Остальной мир	Всего, мир	Доля по типам
Нефтяные танкеры	4505	2819	288	6046	865	14524	25%
Сухогрузы	9274	5134	654	352	91	15505	26,7%
Суда для перевозки генеральных грузов	416	159	-	74	234	884	1,5%
Контейнеровозы	6630	3020	992	2632	341	13614	23,5%
Газовозы	762	1754	52	4709	26	7302	12,6%
Танкеры-химовозы	466	647	-	274	64	1452	2,5%
Суда для работы на шельфе	774	18	-	472	453	1718	3%
Пассажирские суда и паромы	162	72	2	51	1573	1860	3,2%
Другие	270	816	-	24	76	1186	2%
Всего, мир	23260	14440	1988	14633	3724	58045	100%
Доля по странам	40,1%	24,8%	3,4%	25,2%	6,4%	100%	

Источник: «Конференция ООН по торговле и развитию.Обзор морского транспорта», UNCTAD, 2019 [284]

Ожидается, что к 2025 году заказ на новые суда вырастет почти в два раза до 41 млн тонн валовой вместимости. При этом основные сегменты прироста увеличатся за счет заказов на контейнеровозы и танкеры, к 2028 году заказ снова снизится до 31 млн тонн валовой вместимости, при этом вырастет доля заказов сухогрузов [284].

Ключевые типы судов, которые будет необходимо заместить в ближайшие годы, – рефрижераторы, ролкеры, многоцелевые суда и автовозы. Наиболее «молодые» типы судов – газовозы, танкеры и сухогрузы [285].

Рисунок 77. Распределение эксплуатируемых судов по возрасту (2018 год, %)



Источник: «Тенденции и вызовы в судостроении: особый взгляд на отрасль морского оборудования», MSI, 2019 [285]

Согласно оценке UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development – Конференция ООН по торговле и развитию), средний возраст судов составляет 21 год. При этом до 71% сухогрузов эксплуатируются менее 10 лет, так же как 56% контейнеровозов, 54% нефтяных танкеров. При этом только 35% судов для перевозки генеральных грузов и 41% судов других типов младше 10 лет, что демонстрирует низкую степень обновления [284].

Таблица 22. Средний возраст эксплуатируемых судов по типам

Типы судов	Средний возраст (лет в 2019 году)
Сухогрузы	9,72
Контейнеровозы	12,34
Многоцелевые (генеральные грузы)	26,39

Типы судов	Средний возраст (лет в 2019 году)
Нефтяные танкеры	18,87
Другие	22,85
Все суда	20,98

Источник: «Конференция ОНН по торговле и развитию.Обзор морского транспорта», UNCTAD, 2019 [284]

Вступление в силу правил IMO 2020 с 1 января 2020 года, которые ограничат количество серы в мазуте, приведет к приостановке эксплуатации многих судов для их переоборудования. Списание менее топливосберегающих судов общим дедвейтом 26 млн тонн в 2019 году и 44 млн тонн в 2020 году приведет к сокращению мирового флота на 0,8% в 2020 году [284].

Основные игроки рынка: Hyundai, Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering, CSIC, Imabari Shipbuilding, CSSC, Japan Marine United и др. [283]

Таблица 23. Лидеры мирового рынка судостроения (2019 год)

Наименование компании-лидера	Страна	Виды продукции гражданского судостроения	Выручка в 2019 году ($ млрд)	Количество сотрудников (чел.)
Hyundai Heavy Industries	Республика Корея	Газовозы, танкеры, контейнеровозы, суда для работы на шельфе	$ 13,2 млрд (2018 год) по судостроительным сегментам [286]	27 409 (2017 год) [287]
Daewoo Shipbuilding Industries	Республика Корея	Газовозы, танкеры, контейнеровозы, сухогрузы, ролкеры	$ 8,24 млрд (2018 год, совокупная выручка по военному и гражданскому направлениям) [288]	9 933 (2018 год)
CSIC	КНР	Газовозы, нефтетанкеры, контейнеровозы, буровые платформы	$ 46,1 млрд (2018 год) [289]	165 274 (2018 год)
CSSC	КНР	Газовозы, танкеры, ролкеры, балкеры, сухогрузы	$ 29,8 млрд (2018 год) [290]	70 009 (2018 год)
Imabari Shipbuilding (7,8% мирового рынка) [291]	Япония	Контейнеровозы, сухогрузы, автовозы, танкеры	$ 3,43 млрд (2016 год) [292]	–

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам порталов компаний

Одним из значимых трендов является консолидация компаний в странах – крупнейших производителях судов. Драйвером этого процесса выступила КНР, которая интегрирует две крупнейшие компании[22].

Для усиления собственных судостроительных мощностей на фоне роста судостроительной промышленности КНР крупнейшие предприятия Республики Корея и Японии также рассматривают возможности консолидации активов. Целями этого процесса является интеграция цепочек поставок, расширение ассортимента продукции, снижение финансовых рисков, снижение внутренней конкуренции в отдельных странах [294, 295]. По подсчетам MSI, суммарная доля

22 Летом 2019 году было принято решение об объединении CSIC и CSSC в единый холдинг [293].

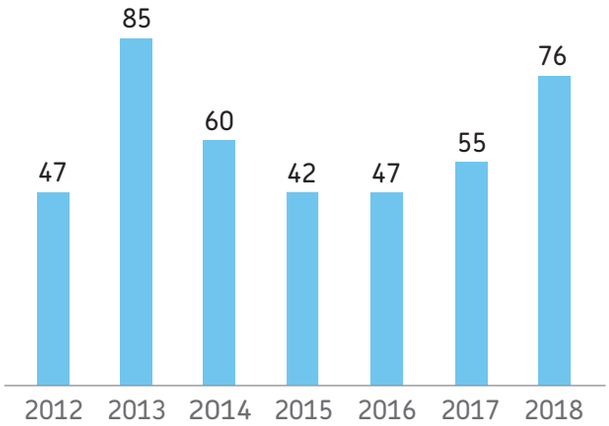
формируемых «суперверфей» в общих поставках продукции за последние 5 лет в Республике Корее составила 77%, в КНР – 38%, а в Японии – 53% [285].

Российский рынок судостроения

Согласно Стратегии развития судостроительной промышленности Российской Федерации до 2035, доля судостроения в ВВП России в 2018 году достигла 0,8%, объем производства в 2018 году вырос в 1,7 раза по сравнению с 2012 годом и составил 620 млрд рублей.

В 2018 году выручка от продажи товаров, работ и услуг организаций судостроительной промышленности увеличилась в 1,7 раза по сравнению с 2012 годом и составила 710 млрд рублей, из которых 550 млрд приходилось на промышленные организации. В отрасли занято около 186 тысяч человек, средняя заработная плата составляет 62 тыс. руб. [296]. В 2018 году на российский верфях строилось 170 судов, а в 2019 году – 150 судов, что составляет 3% от мирового заказа. Отмечается рост количества построенных судов: в 2018 году – 76 единиц [297].

Рисунок 78. Динамика строительства судов в России (2012–2018 годы, ед.)



Источник:: «Российский рынок судостроения в цифрах», Sudostroenie.info, ЦНИИМФ, 2019 [297]

Заводы ПАО «Завод «Красное Сормово», ПАО «СЗ «Северная верфь», ПАО «Выборгский судостроительный завод», АО «Пелла» являются лидерами по строительству гражданских судов, на их долю в 2018 году пришлось свыше 50% заказа.

В 2018 в российском флоте преобладали танкеры (68%), суда для генеральных грузов (16%), а также балкеры (9%).

Рисунок 79. Структура российского флота по классам судов (2018 год, %)

Источник: «Российский рынок судостроения в цифрах», Sudostroenie.info, ЦНИИМФ, 2019 [297]

Суда типа «река – море», а также морские суда составляют 37% от всего флота, более половины из них строится за рубежом.

Рисунок 80. Строительство судов класса «море» и «река – море» для России (2012–2018 годы, ед.)

Источник: «Российский рынок судостроения в цифрах», Sudostroenie.info, ЦНИИМФ, 2019 [297]

По мнению аналитиков ЦНИИМФ (Центрального научно-исследовательского и проектно-конструкторского института морского флота), пополнение флота сдерживается следующими факторами:

- Высокая капиталоемкость: потребность в заемных средствах.
- Высокая стоимость кредитов.
- Длительный срок окупаемости судов (грузовые суда – 12 лет, пассажирский флот – более 25 лет.)

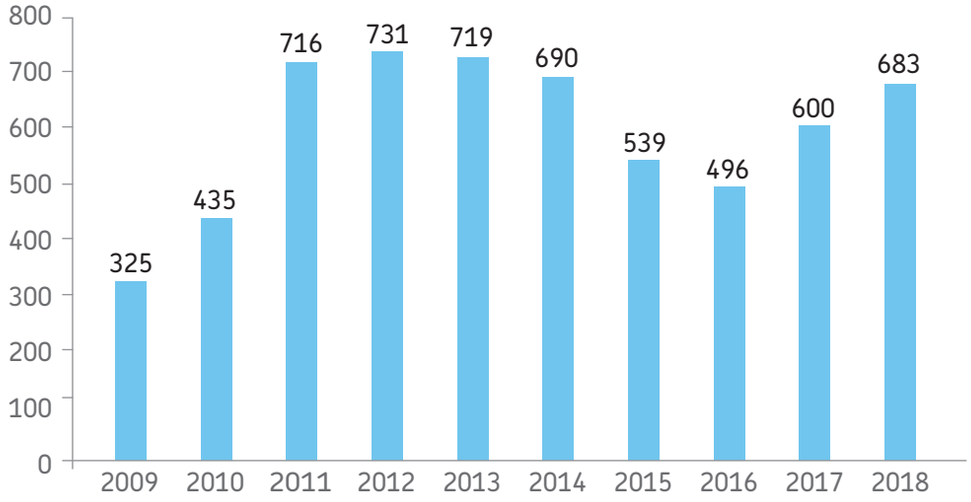
3.8. Рынок непрерывного/процессного производства

Рынок непрерывного/процессного производства включает как добычу полезных ископаемых, так и ряд обрабатывающих производств: металлургическое производство, производство кокса и нефтепродуктов, производство химических веществ и химических продуктов.

Добыча полезных ископаемых

В ежегодном обзоре PwC за 2019 год рассматриваются мировые тенденции в области добычи полезных ископаемых на примере 40 крупнейших горнодобывающих компаний по рыночной капитализации в 2018 году. Согласно обзору PwC, выручка на рынке добычи полезных ископаемых в 2018 году выросла на 8%, достигнув $ 683 млрд [298]. Согласно Statista, суммарные активы 40 ведущих компаний мира в 2019 году составили $ 1139 млрд, а общие операционные расходы $ 515 млрд [299]. PwC прогнозирует, что в 2019 году доходы компаний увеличатся еще на $ 3 млрд. Предполагаемое снижение доходов объясняется, во-первых, прогнозируемым незначительным увеличением производительности и повышением средних цен на железную руду на фоне резкого снижения цен на уголь и медь и, во-вторых, увеличением эксплуатационных расходов в связи с неблагоприятной экономической обстановкой, вызванной ростом инфляции [298].

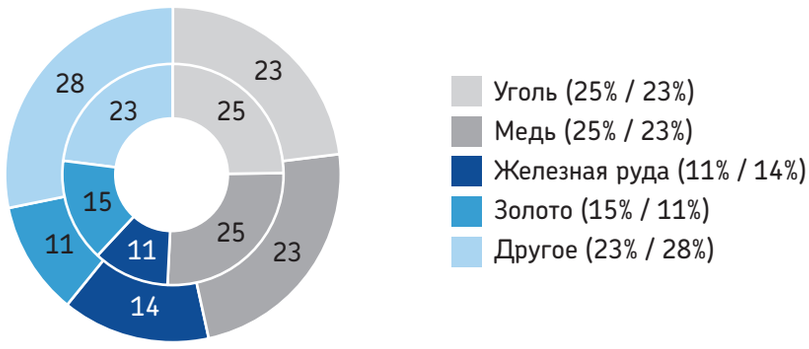
Рисунок 81. Динамика выручки 40 горнодобывающих компаний-лидеров ($ млрд, 2009–2018 годы)



Источник: «Ресурсы будущего», PwC, 2019 [298]

Анализ PwC показывает, что соотношение добычи различных полезных ископаемых, которые являются основными источниками доходов горнодобывающих компаний, практически не изменилось за последние 10 лет. Добыча угля занимает одно из лидирующих положений, основная доля производства переместилась из США в Азию. Стоимость угля в 2018 году выросла на 21%, доходы от его продаж – на 12%. Стабильно ведущее положение занимает производство меди, стоимость меди в 2018 году увеличилась на 6%, доходы ее продаж – на 12%. Увеличилось производство железной руды на фоне роста городских инфраструктур, стоимость руды сократилась на 3%, но доходы от продаж выросли на 2%. Таким образом, тенденции по снижению выбросов углекислого газа и производству экологически чистых продуктов практические не повлияли на соотношение добычи полезных ископаемых [298].

Рисунок 82. Доля добычи полезных ископаемых, являющихся основными источниками доходов компаний-лидеров, в 2006 (внутреннее кольцо диаграммы) и 2018 годах (%)



Источник: «Ресурсы будущего», PwC, 2019 [298]

Наибольшее количество компаний – лидеров рейтинга PwC присутствует в таких странах, как США, Канада, Бразилия, Перу, Чили, Китай, Индия, Великобритания, Россия, Демократическая Республика Конго, ЮАР, Австралия. Первое место в рейтинге PwC занимает компания BHP Group Limited. В рейтинге присутствуют три российских компании: ПАО «ГМК «Норильский никель» (6-е место), АК «АЛРОСА» (22-е место), АО «Полиметалл» (36-е место) [298].

Таблица 24. Первые 10 компаний из рейтинга топ-40 компаний по добыче полезных ископаемых PwC в 2018 году

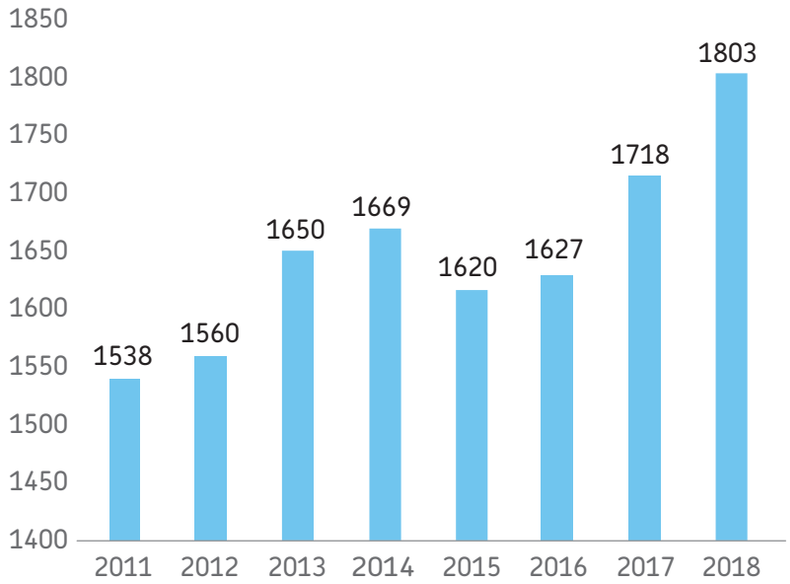
Рейтинг 2019	Рейтинг 2018	Название компании	Страна	Специализация
1	1	BHP Group Limited	Австралия/ Великобритания	Многоотраслевая
2	2	Rio Tinto Limited	Австралия/ Великобритания	Многоотраслевая
3	5	Vale S.A.	Бразилия	Многоотраслевая
4	3	Glencore Plc	Швейцария	Многоотраслевая
5	4	China Shenhua Energy Company Limited	Китай	Уголь
6	6	MMC Norilsk Nickel	Россия	Никель
7	7	Anglo American Plc	Великобритания/ ЮАР	Многоотраслевая
8	10	Coal India Limited	Индия	Уголь
9	12	Newmont Mining Corporation	США	Золото
10	9	Grupo México S.A.B. de C.V	Мексика	Многоотраслевая

Источник: «Ресурсы будущего», PwC, 2019 [298]

Металлургическое производство

В обзоре рынка черной металлургии Deloitte за второе полугодие 2019 года, рассматривается динамика продаж и потребления в отрасли на примере стали. Согласно обзору, по итогам первых восьми месяцев 2019 года мировое производство стали в мире выросло на 4,6%, достигнув 1 239 млн т [300].

Рисунок 83. Динамика производства стали в мире в 2011–2018 годах (млн т)



Источник: «Обзор рынка черной металлургии», Deloitte, 2019 [300]

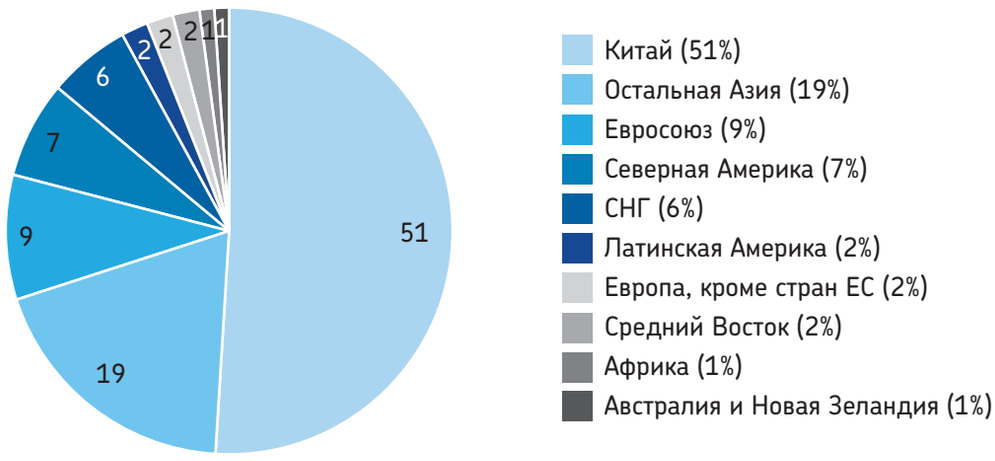
The Economist Intelligence Unit прогнозирует, что на начало 2020 года годовые темпы мирового производства будут замедляться до 2,3%, в течение 2020 года тенденция снижения сохранится (-1,1%). Отрицательная динамика компенсирует бурный рост периода 2017–2019 годов. К факторам замедления мирового производства стали в прогнозируемом периоде Deloitte относит ожидаемое падение цены на сталь и, как следствие, снижение рентабельности производства. Только в 2021 году восстановится положительная динамика, и рост мирового производства стали достигнет 3% [300].

В региональном разрезе Китай значительно опережает остальной мир по темпам роста производства стали. В первом полугодии 2019 года производительность металлургических предприятий Китая увеличилась на 9,9%, в то время как в остальных странах производство совокупно сократилось на 0,7%. Deloitte прогнозирует, что вследствие торговых войн с США в 2020 году производство стали в Китае может снизиться на 2,5%, однако правительственные меры поддержки экономического роста уже в 2021 году приведут к увеличению темпов роста на 3%. Положительную динамику по итогам 2018 года продемонстрировала Индия (+4,9%), опередив по темпам роста Японию, которая уступила Индии второе место в мире по производству стали [300].

В Европейском союзе за первую половину 2019 года производство стали снизилось на 2,5%. Основное снижение было зафиксировано в ведущих сталелитейных странах, таких как Франция и Германия. Эксперты The Economist Intelligence Unit ожидают, что в 2020 году показатели снизятся до 3%, а восстановление произойдет только в 2021 году [300].

В США производство стали выросло на 5,4% в первой половине 2019 года. В целом в североамериканском регионе производство оказалось ниже показателей аналогичного периода 2018 года в связи со снижением объемов производства в Канаде и Мексике из-за неопределенности ситуации с пошлинами на сталь между США с одной стороны и Канадой и Мексикой с другой [300].

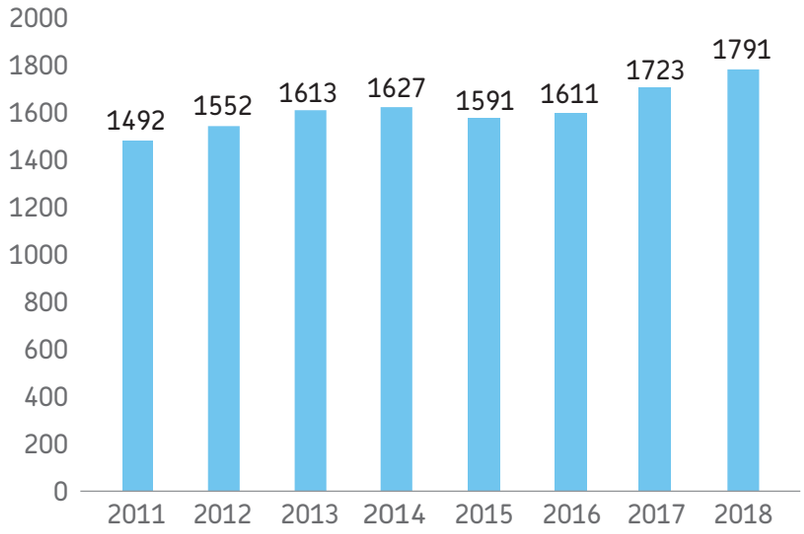
Рисунок 84. Производство стали по регионам в 2018 году (%)



Источник: «Обзор рынка черной металлургии», Deloitte, 2019 [300]

По оценке Deloitte, мировое потребление стали в 2018 году составило 1 791 млн т (+4%). The Economist Intelligence Unit прогнозирует, что в 2020 году произойдет снижение темпов роста потребления стали в мире на 0,2%. Замедление роста проявится в снижении спроса в Азии и ограниченном росте на Ближнем Востоке, в Африке и странах СНГ. Негативное влияние на динамику развития рынка окажут такие факторы, как обострение отношений между странами с развитой экономикой и проблемы задолженности стран с развивающейся экономикой [300].

Рисунок 85. Динамика потребления стали в мире в 2011–2018 годах (млн т)



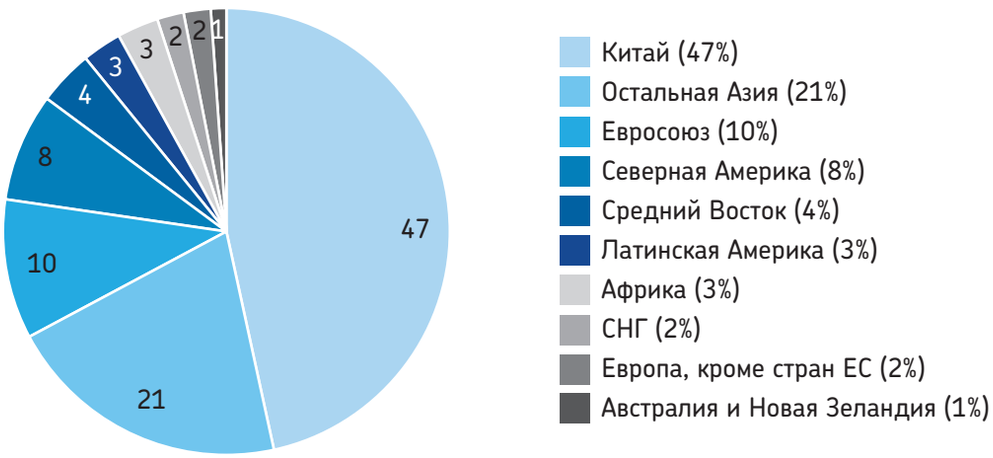
Источник: «Обзор рынка черной металлургии», Deloitte, 2019 [300]

В региональном контексте основным потребителем стали является Азия, на которую приходится почти 70% мирового спроса, 47% из которых – на Китай. Основным сектором потребления стали в Азии является строительный. Темпы роста потребления стали в странах Азии (за исключением Китая) в 2018 году составили 4%. Быстрорастущим рынком является индийский, спрос на котором увеличился на 7,5%. Спрос в малых странах Азии также продолжает увеличиваться, в частности, во Вьетнаме и на Филиппинах в 2018 году был зафиксирован рост в 5–10% [300].

В Северной Америке в 2018 году 75% потребления стали пришлось на США, 43% из которых были задействованы в строительном секторе. Аналитики The Economist Intelligence Unit пришли к выводу, что в 2020 году темпы роста потребления стали в США сократятся на 1%, но уже в 2021 году восстановятся до 3% [300].

На Европейский союз приходится 10% мирового потребления стали. The Economist Intelligence Unit отмечает, что в связи с введением новых стандартов на проведение испытаний на определение вредных выбросов автомобилей, приведших к снижению цен и сокращению продаж, спрос на сталь в странах Европейского союза будет уменьшаться в 2020 году [300].

Рисунок 86. Потребление стали по регионам мира в 2018 году (%)



Источник: «Обзор рынка черной металлургии», Deloitte, 2019 [300]

Китай, Япония и Россия – крупнейшие экспортеры стали в 2018 году. В топ-3 стран-импортеров стали вошли Евросоюз, США, Германия [300].

Таблица 25. Топ-10 стран – экспортеров и импортеров стали в 2018 году (млн т)

Страны-экспортеры			**Страны-импортеры**		
№	Страна	Млн т	№	Страна	Млн т
1	Китай	68,8	1	Евросоюз	44,9
2	Япония	35,8	2	США	31,7
3	Россия	33,3	3	Германия	26,6
4	Республика Корея	30,1	4	Италия	20,6
5	Евросоюз	28,4	5	Таиланд	15,5
6	Германия	26	6	Республика Корея	14,9
7	Турция	19,9	7	Франция	14,9
8	Италия	18,2	8	Бельгия	14,8
9	Бельгия	18	9	Китай	14,4
10	Украина	15,1	10	Вьетнам	14,1

Источник: «Обзор рынка черной металлургии», Deloitte, 2019 [300]

Производство химических веществ и химических продуктов.

В отчете Oxford Economics за 2019 год рынок производства химических веществ и химических продуктов анализируется в трех измерениях влияния на мировую экономику:

1. Непосредственное влияние (Direct Impact) оказывается деятельностью химической промышленности, а именно ВВП, производимым отраслью, и количеством людей, занятых в отрасли ежегодно.

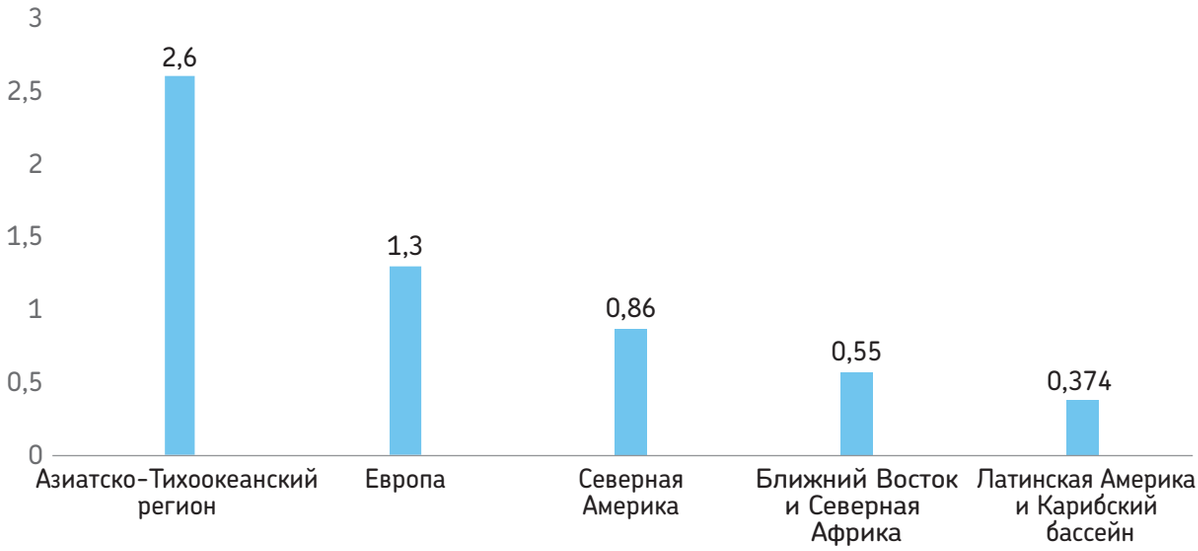
2. Косвенное влияние (Indirect Impact) связано с деятельностью и занятостью, которые поддерживаются существующей цепочкой поставок для отрасли (закупкой товаров и услуг).

3. «Индуцированное» влияние (Induced Impact) отражает глобальные экономические выгоды, возникающие, когда работники химической промышленности тратят заработанные средства [301].

По оценке Oxford Economics, в 2017 году суммарный вклад химической отрасли (с учетом всех трех измерений) в мировой ВВП составил $ 5,7 трлн, что эквивалентно 7% мирового ВВП за данный год; при этом в отрасли было занято 120 млн человек [301].

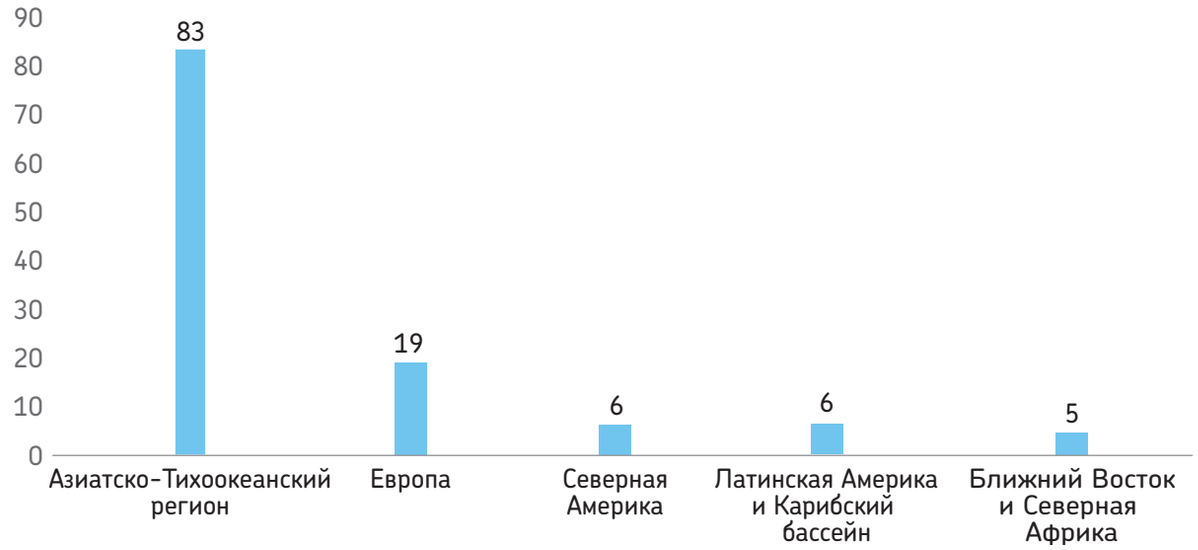
В региональном разрезе абсолютным лидером химической отрасли является Азиатско-Тихоокеанский регион, на который в 2017 году пришлось 45% суммарного вклада химической отрасли в мировой ВВП; на втором месте находится Европа (23%), на третьем – Северная Америка (15%) [301].

Рисунок 87. Общий вклад химической отрасли в мировой ВВП по регионам в 2017 году ($ трлн)



Источник: «Отчет об экономическом анализе», Oxford Economics, 2019 [301]

Рисунок 88. Число рабочих мест в химической отрасли в регионам мира в 2017 году (млн)



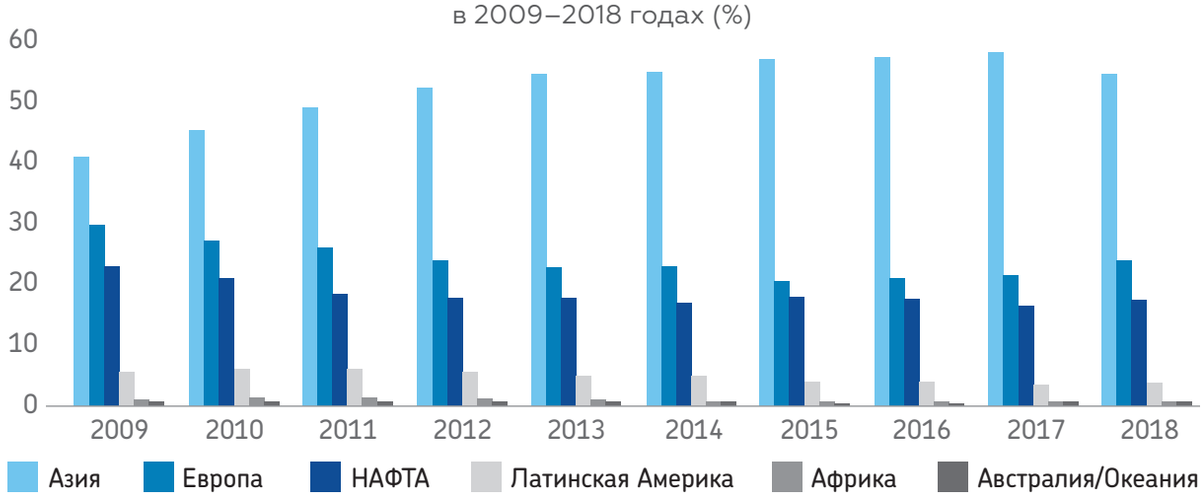
Источник: «Отчет об экономическом анализе», Oxford Economics, 2019 [301]

По данным Statista, в 2018 году лидером по доходам от продаж в химической отрасли также стала Азия, на которую пришлось 54% от всех продаж, и которая остается непревзойденным лидером по данному показателю с 2009 года [302].

В 2017 году непосредственное влияние (Direct Impact) химической промышленности на мировой ВВП оценивалось в $ 1,1 трлн (вклад в виде валовой добавленной стоимости), что составляет 27% от объема всех продаж в отрасли. Помимо собственно производителей химических веществ и продуктов, крупнейшими потребителями отрасли являются производители резины и пластмассы (17,3% потребления производимого сырья), сфера здравоохранения (15,4%), сельское и лесное хозяйство, рыболовство (9,4%) [301].

Общая сумма, потраченная на НИОКР мировой химической промышленностью в 2017 году, составила $ 51 млрд. Наиболее значимый вклад внесли химические компании Китая и США, $ 15 млрд и $ 12 млрд соответственно. В 2017 году в НИОКР химической промышленности было занято 1,7 млн человек [301].

Рисунок 89. Объем выручки от продаж химической продукции по регионам мира в 2009–2018 годах (%)

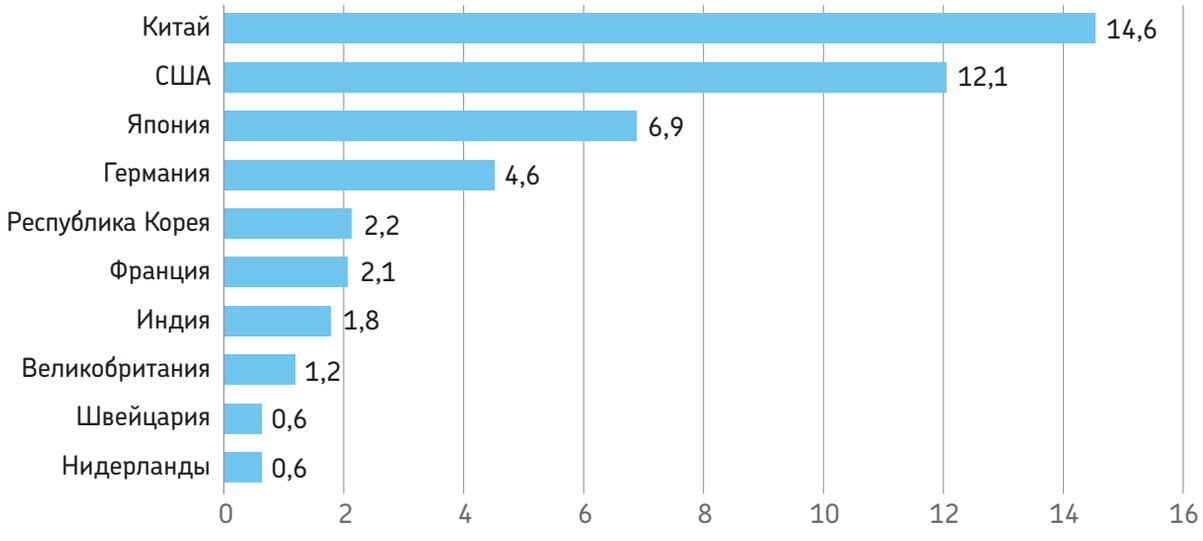


Источник: «Доля рынка мировых продаж химической промышленности по регионам», Statista, 2018 [302]

Рисунок 90. Расходы компаний химической отрасли на НИОКР по регионам мира в 2017 году ($ млрд)

Источник: «Отчет об экономическом анализе», Oxford Economics, 2019 [301]

Рисунок 91. Топ-10 стран по расходам на НИОКР в химической отрасли в 2017 году ($ млрд)



Источник: «Отчет об экономическом анализе», Oxford Economics, 2019 [301]

4. РЫНКИ «СКВОЗНЫХ» ТЕХНОЛОГИЙ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» НТИ

А.И. Боровков, Л.А. Щербина, И.С. Метревели, К.В. Кукушкин, А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская (СПбПУ); М.С. Липецкая, Н.С. Андреева, Д.В. Санатов, Е.А. Римских (Фонд «ЦСР «Северо-Запад»)

4.1. Рынок цифрового проектирования и моделирования

Цифровое проектирование и моделирование изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.) и производственных процессов на всем протяжении жизненного цикла является необходимым комплексом технологий для создания Фабрик Будущего, в частности Цифровых фабрик, а также цифровых двойников (Digital Twin). Цифровое проектирование и моделирование позволяет радикально сократить сроки вывода на рынок новых продуктов (T2M) и повысить их интеллектуалоемкость.

Цифровое проектирование и моделирование представляет собой совокупность:

- технологий компьютерного проектирования (Computer-Aided Design, CAD);
- математического моделирования, компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE, и High Performance Computing, HPC) и оптимизации (Computer-Aided Optimization, CAO);
- технологической подготовки производства (Computer-Aided Manufacturing, CAM), в том числе нового поколения, ориентированной на аддитивное производство (Computer-Aided Additive Manufacturing, CAAM);
- бионического / генеративного дизайна ((Simulation & Optimization) - Driven Bionic / Generative Design);
- цифровых двойников (Digital Twin);
- технологий управления данными о продукте (Product Data Management, PDM);
- технологий управления жизненным циклом изделий (Product Lifecycle Management, PLM).

В настоящее время наиболее наукоемкой частью цифрового проектирования и моделирования является компьютерный инжиниринг, который можно рассматривать и как совокупность инжиниринговых услуг – высокоинтеллектуальной научно-технической деятельности по разработке сложных технических систем (Brainware / Engineering services), и как совокупность инструментов компьютерной поддержки инжиниринговых услуг (Tools) – программного и аппаратного обеспечения [11].

Оценить мировой рынок компьютерного инжиниринга представляется затруднительным, поскольку значительная часть деятельности осуществляется в рамках структурных единиц производственных компаний, которые не оказывают инжиниринговые услуги сторонним заказчикам.

В части же программного обеспечения, по оценкам компании CIMdata, специализирующейся на оказании услуг стратегического консалтинга поставщикам PLM-решений, объем рынка так называемого традиционного PLM (mainstream PLM)[23], который содержательно наиболее

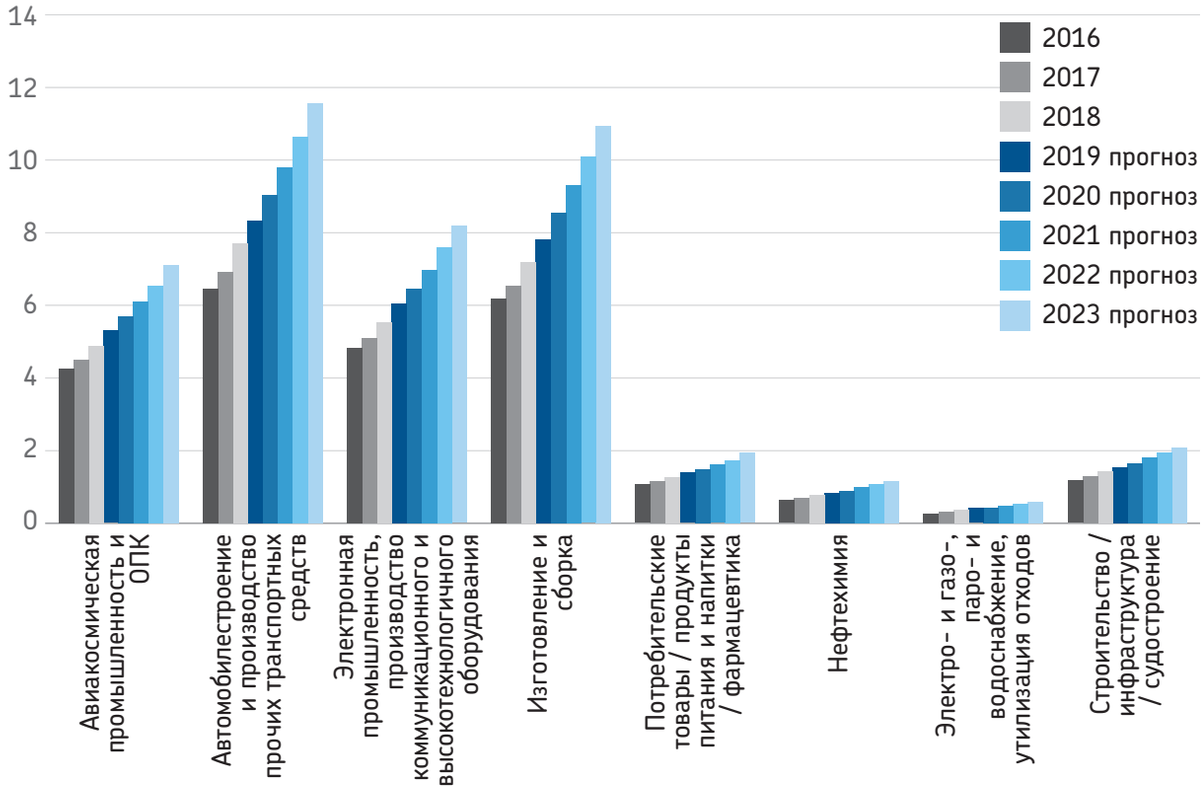
23 Машиностроительные системы компьютерного проектирования (Mechanical CAD); системы инженерного моделирования и анализа (Simulation & Analysis, синоним CAE-систем); автономные CAM-системы (non-bundled NC); коллаборативные системы управления данными о продукте на всех этапах его жизненного цикла (collaborative Product Definition management, cPDm), позволяющие работать с информацией из CAD-, CAM-, CAE- и прочих программных и непрограммных систем; «цифровое производство» (Digital Manufacturing) – программные системы моделирования, визуализации, анализа и оптимизации технологических и производственных процессов; услуги системных интеграторов и различных перепродавцов программного обеспечения (Integrators/VARs/Resellers).

близок понятию «цифровое проектирование и моделирование», в 2017 году составил $ 27,16 млрд [303].

Мировой рынок так называемого полного PLM (comprehensive PLM), по оценкам CIMdata, в 2018 году вырос до $ 47,8 млрд (рост 9,4% по сравнению с 2017 годом), что выше прогноза компании (7% рост), а к 2023 году достигнет $ 72,1 млрд (CAGR в зависимости от региона мира составит от 8,3 до 8,6%) [304].

Крупнейшим рынком PLM в 2018 году остался регион Северной и Южной Америки (37,8%). Ожидается, что американский рынок будет расти темпами 8,3% в год и достигнет $ 26,7 млрд в 2023 году, регион Европы, Африки и Ближнего Востока занимает второе место по объему – 33,4%, рост этого рынка составит 8,3% в год, а к 2023 году объем рынка составит $ 24,1 млрд. Объем рынка PLM Азиатско-Тихоокеанского региона составил 28,8%, ожидается, что объем рынка вырастет до $ 21,3 млрд, а темпы роста составят 8,6% [304].

Рисунок 92. Отрасли – основные потребители PLM-систем в 2018 году (прогноз до 2023 года, $ млрд)



Источник: «CIMdata опубликовала отчет об отраслевом анализе PLM за 2019 год», Dailycadcam.com, 2019 [305]

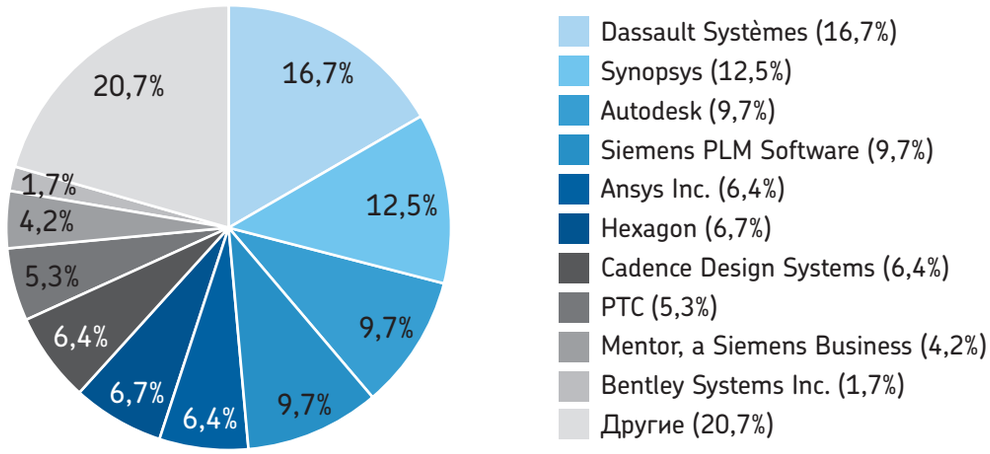
Согласно прогнозу аналитиков CIMdata, основными потребителями PLM-систем в прогнозе до 2023 года останутся автомобилестроение (более $ 11 млрд к 2023 году), промышленное производство (более $ 10 млрд к 2023 году) и аэрокосмическая отрасль (более $ 7 млрд к 2023 году) [305].

Ключевыми трендами развития PLM, по мнению аналитиков CIMdata, станет переход к облачным технологиям, что будет влиять на снижение стоимости продукции для бизнеса, вторым трендом станет переход к платформенным корпоративным решениям. Отмечается тренд по внедрению в PLM-решения технологий Интернета вещей и индустрии 4.0. Лидеры рынка PLM наращивают конкурентный потенциал за счет поглощения небольших компаний: в 2018 году зафиксировано 124 приобретения [306].

Согласно оценке компании APPS RUN THE WORLD, объем мирового рынка PLM систем составил в 2018 году $ 19,4 млрд, при этом объем рынка в 2023 году составит $ 20,5 млрд, а среднегодовые темпы роста составят 1,1% [307].

Рынок PLM систем характеризуется высокой степенью монополизации. Так, по оценке APPS RUN THE WORLD, 10 крупнейших вендоров контролировали в 2018 году 80,8% мирового рынка. Наибольшую долю на рынке заняла Dassault Systèmes (16,8%), на втором месте компания Synopsis [307].

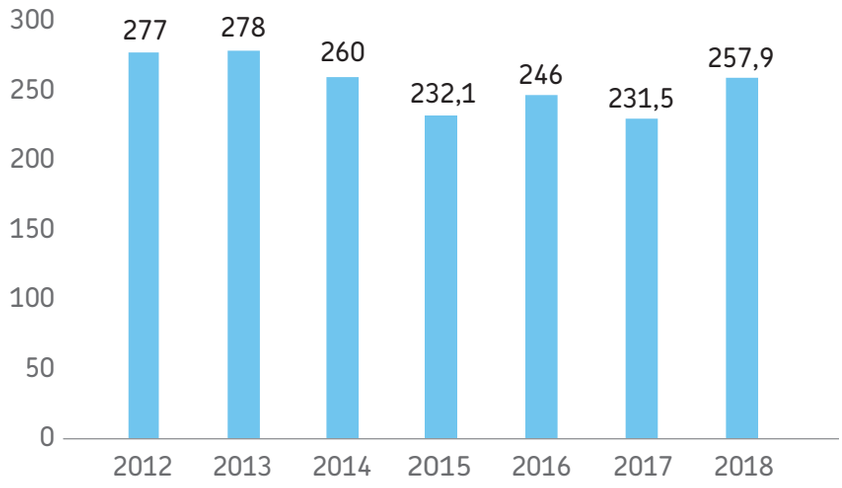
Рисунок 93. 10 крупнейших игроков рынка PLM-систем (2018 год, %)



Источник: «Топ-10 поставщиков PLM и программного обеспечения для проектирования, размер рынка и прогноз на 2018–2023 гг.», Appsruntheworld.com, 2020 [307]

По данным компании CIMdata, рынок цифрового проектирования и моделирования в России (традиционный PLM) в 2018 году составил $ 257,9 млн (0,54% от мирового рынка). По сравнению с 2017 годом в 2018 году объем рынка вырос на 7%.

Рисунок 94. Российский рынок традиционного PLM, $ млн



Источник: «CIMdata выпускает серию отчетов по анализу рынка PLM для конкретных стран», CIMdata, 2019 [308]

Согласно оценке дорожной карты по «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии», разработанной Центром НТИ СПбПУ совместно с экспертным сообществом в 2019 году, в России ведется активная деятельность по разработке и применению решений по цифровому проектированию и моделированию. Среди ключевых продуктов – Компас-3D,

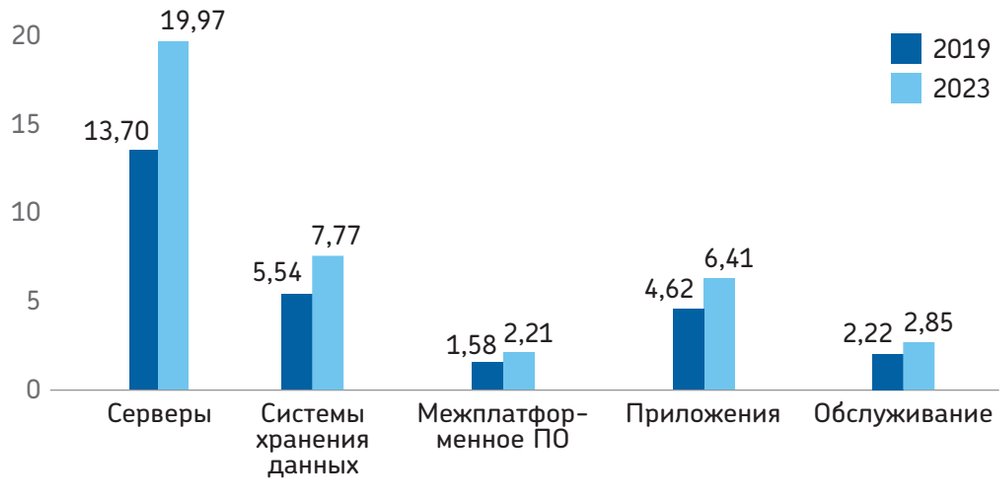
T-Flex PLM+, СПЖЦ «Цифровое предприятие» в защищенном исполнении, ЛОГОС, 1С:PDM, ЛЭГАК-ДК, CAE Fidesys®, CML Safety suit, CML Bench и др. [205]

Согласно данным отчета Researchandmarkets.com, объем мирового рынка CAE-систем в период с 2018 по 2026 год будет расти в среднем на 10,36% в год и достигнет $ 13,21 млрд в 2026 году. До 25% потребления будет приходиться на автомобилестроение [309]. По прогнозу Polaris Market, рынок CAE-систем вырастет до $ 11,86 млрд к 2026 году [310].

По оценке Hyperion Research, объем мирового рынка HPC-серверов в 2018 году составил $ 13,7 млрд. Продажи серверов выросли на 15% по сравнению с 2017 годом. Сегмент суперкомпьютеров вырос на 23% в 2018 году, продажи составили $ 5,4 млрд [311].

Если рассматривать основные сферы применения HPC-серверов, то, по оценке аналитиков Hyperion, в 2018 году около 11,1% выручки, или $ 1,521 млрд, пришлось на компьютерный инжиниринг. По прогнозу компании среднегодовые темпы роста рынка HPC-серверов составят 7,8% в период с 2019 по 2023 год [311].

Рисунок 95. Прогноз роста рынка HPC (2019–2023, $ млрд)



Источник: «Высокопроизводительные вычисления экономят деньги», Nextplatform.com, 2019 [311]

Согласно оценке Hyperion, наиболее высокими темпами в 2018 году будет расти сегмент суперкомпьютеров (8,4%), но в то же время эти темпы роста будут ниже прогноза 2017 года (14,5%) [311].

4.2. Рынок новых материалов

Разработка и производство новой высокотехнологичной продукции предполагает применение новых материалов (Advanced materials), в том числе композиционных, метаматериалов, металлопорошков для аддитивного производства.

Благодаря использованию новых материалов может создаваться продукция с новыми потребительскими характеристиками. Применение новых материалов будет содействовать повышению конкурентоспособности отдельных отраслей, например, авиастроения, судостроения, автомобилестроения, двигателестроения и др.

Среди ключевых трендов развития новых материалов эксперты Всемирного экономического форума (World Economic Forum, WEF) выделяют [312]:

1) Для создания новых материалов необходимы «гибридные навыки», так как формирование следующего поколения материалов будет основано на компьютерном моделировании и вычислениях, междисциплинарных исследованиях, включающих быстрое прототипирование, автоматический сбор и анализ данных, самооптимизацию. В будущем возможно создание новых материалов на основе системного подхода, в том числе за счет сотрудничества программистов, разработчиков алгоритмов, специалистов в области, специалистов по материалам.

2) Управление жизненным циклом материалов, в том числе повторное использование. Из-за нехватки ресурсов, а также новых экологических требований возрастает необходимость разработки новых подходов к экономии ресурсов и их повторному использованию. Это особенно актуально для передовых материалов, которые изначально проектируются как высокопроизводительные и могут быть использованы повторно.

3) Увеличение вычислительной мощности оборудования и использование инструментария машинного обучения будут способствовать ускорению разработки передовых материалов.

4) «Фронтирные» материалы – новые инструменты и методы будут способствовать разработке материалов, используемых в экстремальных условиях (например, большие глубины, экстремальные перепады температур и пр.). При этом получится изменить традиционные методы создания материалов методом проб и ошибок, этому будут способствовать такие инструменты, как компьютерное проектирование и виртуальные испытания.

5) Множественная и непрямая функциональность материалов – требования к «производительности» и функциям материалов растут. Это приводит к росту многофункциональности – материалы сочетают структурные и функциональные характеристики. Такие материалы, например, актуальны для медицины, фармацевтики и др.

6) Рост качества жизни за счет использования новых материалов. Свойства новых материалов будут непосредственно воздействовать на качество жизни людей, в том числе в медицине, транспорте, энергетике, машиностроении и др. [312].

Для оценки рынка новых материалов приводятся данные по передовым (advanced) материалам: к 2024 году объем этого рынка увеличится до $ 95–102,5 млрд, текущий объем рынка – $ 42,8 млрд [313]. Согласно оценке Research Nester, объем мирового рынка передовых материалов составил $ 1 370 млрд в 2016 году, уже к 2024 году объем рынка вырастет до $ 1978–2040 млрд, среднегодовые темпы роста составят 5,1% [314].

Согласно данным Verified Market Research, объем мирового рынка передовых материалов (advanced materials) в 2018 году составил $ 59,62 млрд. Ожидается, что объем рынка вырастет до $ 125,46 млрд в 2025 году, а среднегодовые темпы роста составят 9,7% [315].

Эксперты Technavio провели оценку рынка передовых функциональных материалов (advanced functional materials). Аналитики считают, что мировой рынок новых материалов вырастет на $ 46,21 млрд в 2021–2025 годах, темпы роста составят 8,91%, и 50% роста придется на страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). Более 50% всего рынка будет приходиться на композиционные материалы [316].

Наиболее растущими сегментами передовых материалов являются: углеродные материалы, биокерамика, оксид алюминия, титанаты, цирконаты.

Рынок передовых углеродных материалов (карбон) будет расти в среднем на 9,1% ежегодно и к 2025 году достигнет $ 12,66 млрд [317], увеличившись в 1,8 раза по сравнению с 2018

годом. Карбоновые нанотрубки – самый быстро растущий сегмент с ежегодным темпом прироста в 10% (2019–2025 годы).

Объем рынка из передовой керамики к 2025 году вырастет до $ 141,5 млрд, увеличившись в 2,13 раза по сравнению с показателем 2017 года (CAGR 9,91%) [318]. В силу особых свойств керамики (твердость, устойчивость к высоким температурам, биосовместимость) растет спрос на керамические материалы в сфере тяжелого машиностроения, энергетики, медицины и др.

Треть рынка передовых керамических материалов представлена оксидом алюминия (alumina), объем сегмента в 2017 году составил $ 24,8 млрд. Данный материал особенно востребован в автомобильной промышленности и энергетическом секторе Азиатско-Тихоокеанского региона. Высокими темпами будут расти сегменты титанатов и цирконатов – в среднем на 11% и 11,7% ежегодно соответственно (в период 2019–2025 годов). Титанаты обладают исключительной термостойкостью и особенно востребованы в тяжелой промышленности и энергетике стран АТР и США. Цирконаты в силу высокой электропроводимости крайне востребованы в отрасли микроэлектроники для производства актуаторов, датчиков-преобразователей, конденсаторов [318].

Аналитики Всемирного экономического форума оценили влияние цифровой трансформации на химическую промышленность и отрасль передовых материалов (Chemistry and Advanced Materials Industry), выраженное в виде потенциальной добавленной стоимости (Value at Stake) в зависимости от этапа или фактора создания стоимости [319]:

Таблица 26. Влияние цифровой трансформации на химическую промышленность и отрасль передовых материалов на период 2015–2025 годов

Этап / фактор создания стоимости	**Потенциальная добавленная стоимость ($ млрд к 2025 году)**
Цифровые исследования и разработки	28–31
Цифровая фабрика	35–60
Цифровая цепочка поставок	40–70
«Дополненная» рабочая сила (Augmented Workforce)	85–120
Цифровые бизнес-модели	110–250
Вовлечение / взаимодействие с клиентами	10–20
Всего:	**308–551**

Источник: Инициатива цифровой трансформации. Химическая промышленность и отрасль передовых материалов [319]

Таблица 27. Динамика роста мирового и российского рынков новых материалов[24]

Новые материалы ($ млрд)	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2024**
Мир (TMR)	57,6	63,6	70,2	77,5	94,5
Мир (Research Nester)	1590,5	1672	1757	1846	2040
Россия (Экспертная оценка по всем типам решений)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7

24 Ассоциация «Технет» на основе рыночных очетов и результатов экспертных опросов.

Ключевые игроки рынка передовых материалов – 3M Advanced Materials, Morgan Advanced Materials plc, Dow Chemical, Huntsman Corporation, Hexcel Corporation, Hanwa Group, Materion Corporation и др.

Таблица 28. Данные по финансовым результатам и числу сотрудников компаний – лидеров рынка передовых материалов[25]

№	Компания	Страна	Выручка 2018 ($ млн)	Прибыль 2018 ($ млн)	Количество сотрудников 2018 (чел.)
1.	3M Advanced Materials	США	32800	7210	93500
2.	Dow Chemical	США	60278	12573	98000
3.	Morgan Advanced Materials	Великобритания	1355,57	163,6	8800
4.	Huntsman Corporation	США	2236	-315	10000
5.	Hexcel Corporation	США	2189,1	317,2	6626
6.	Hanwha Advanced Materials	Республика Корея	41800	1500	60000
7.	Materion Corporation	США	1200	61,5	2700

Композиционные материалы

Ожидается, что мировой рынок композиционных материалов достигнет $ 40,2 млрд к 2024 году, а среднегодовые темпы роста в период с 2019 по 2024 год составят 3,3%. Отмечается, что мировой рынок композиционных материалов и продуктов достигнет $ 114 млрд к 2024 году. Основными драйверами роста рынка станут растущий спрос на легкие материалы в аэрокосмической и автомобильной отрасли, спрос на коррозионно-стойкие материалы в строительной отрасли и производстве труб, спрос на огнеупорные материалы, а также материалы с высоким электрическим сопротивлением в электронной промышленности и производстве электрического оборудования [320].

Ключевые игроки рынка: Toray Industries, Inc.; 3M Company; Cabot Corporation; Asahi Fibreglass Company; DowDuPont [321].

Объем рынка композиционных материалов в России в 2018 году составил 15 млрд рублей, ожидается, что к 2030 году объем рынка достигнет 100 млрд рублей [322].

Рынок «умных» материалов

«Умные» материалы являются основой для многих продуктов, включая сенсоры и актуаторы или искусственные мускулы. Ожидается, что объем глобального рынка «умных» материалов вырастет до $ 7,6 млрд к концу 2025 года. Темпы роста рынка составят 6,9% в период с 2020 года по 2025 год [323].

25 Ассоциация «Технет» на основе годовых отчетов компаний.

Основные игроки на рынке «умных» материалов – компании Harris, MURATA, Solvay, Johnson Matthey и др.

Российский рынок

По экспертной оценке, объем российского рынка передовых материалов составил около $ 0,2 млрд в 2018 году, эксперты ожидают, что к 2024 году объем рынка достигнет $ 0,7 млрд[26].

Лидерами по тематике новых материалов в России являются: АО «Роснано», ГК «Роскосмос», ПАО «ОДК-Сатурн», ГК «Росатом», ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ и др.

В России по тематике новых материалов в период с 2011 по 2018 год было реализовано 4480 НИР и НИОКР (УГТ1 – УГТ3)[27], стоимость которых составила 41 094 млн рублей; 72 НИР и НИОКР (УГТ4 – УГТ6), стоимость которых составила 713 млн рублей; зарегистрировано 107 иностранных патентов, 251 российский патент (358 ед.) [324].

4.3. Рынок аддитивных технологий

Аддитивные технологии становятся доступнее: снижается цена оборудования, увеличивается скорость 3D-печати, расширяется ассортимент материалов. На первый план выходят качество, срок изготовления и длительный период службы оборудования, которое будет долго востребовано на рынке. Данные технологии все чаще применяются в различных отраслях промышленности и становятся важным условием конкурентоспособности компании на глобальном рынке. Наряду с совершенствованием самих технологий можно наблюдать их встраивание во все большее количество производственных цепочек. Это позволяет активнее использовать цифровое проектирование, сочетая аддитивные и традиционные технологии, повышать эффективность производства в процессе создания новых конкурентоспособных продуктов и услуг.

Тренды:

1. Смещается фокус с разработки новых аддитивных технологий на определение и расширение перечня сфер применения 3D-печати отдельных функциональных элементов конечной продукции в самых разных отраслях. Сдвиг в сторону производства изделий / продуктов является ключевым фактором совершенствования технологий / оборудования. Разработчики технологий участвуют в создании практических решений в рамках совместных проектов с промышленными компаниями [325].

2. Определение соответствующих сфер применения 3D-печати в различных отраслях стимулирует производителей материалов разрабатывать и сертифицировать новые высокоэффективные материалы, в первую очередь пластики. Это будет способствовать развитию рынка полимерной 3D-печати, которая в настоящий момент несколько отстает от печати металлами. Наибольший спрос на такие разработки возникает в аэрокосмической и автомобильной промышленности, где необходимы материалы с особыми свойствами и требованиями к качеству для решения конкретных задач (функциональные прототипы или серийное производство) [325].

3. Программное обеспечение будет применяться как для проектирования и изготовления (моделирование процесса 3D-печати) изделия, так и для управления рабочим процессом с целью сокращения времени и стоимости печати. Внедрение моделирования

26 Здесь и далее оценка российских рынков произведена на основе результатов очного экспертного опроса, проведенного 17 апреля 2019 года, в котором приняли участие 40 профильных экспертов. Вопрос об оценке рынков сформирован как открытый, каждый из экспертов оценивал объем рынка в 2019–2024 гг., после этого данные усреднялись.

27 УГТ – Уровень готовности технологий.

в рабочий процесс 3D-печати позволяет производствам выявлять потенциальные ошибки построения изделия еще до его начала. Предотвращение печати неудачных изделий может помочь резко сократить производственные затраты, снизить уровень брака и повысить общую рентабельность [325].

4. Разработка и распространение автоматизированных решений для сокращения времени, которое необходимо для выполнения ключевых задач. Например, постобработка, известная своей трудоемкостью, и ручные процессы – это одна из областей, где автоматизация может существенно повысить эффективность производства.

5. Сотрудничество компаний и в некоторых случаях приобретения слияния и поглощения, могут быть существенными факторами, ускоряющими принятие и распространение аддитивных технологий в промышленности (приобретение компанией GE Concept Laser и Arcam (2017), приобретение ANSYS 3DSIM (2017) и Granta Design (2019) и приобретение Carpenter Technology Corporation британского поставщика металла LPW (2018) [327].

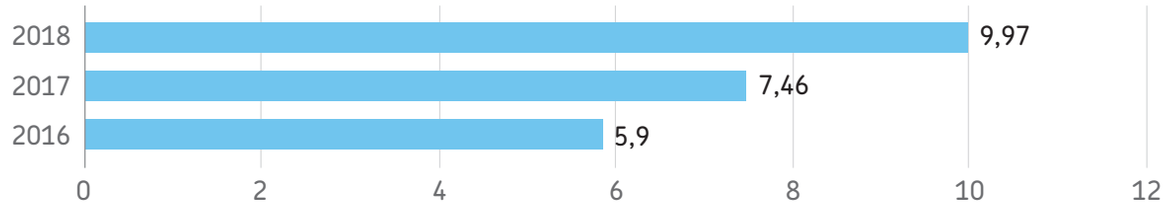
Глобальный рынок аддитивного производства к 2026 году может достигнуть $ 23,3 млрд, увеличившись почти втрое по сравнению с 2018 годом (CAGR 14,4%) [328]. При этом развивающийся сегмент 3D-печати металлом (титан, никель, сталь, алюминий) будет расти высокими темпами (CAGR 28,8%) и с $ 590 млн в 2018 году увеличится до $ 2 млрд к 2023 году [329]. Несмотря на растущий интерес к аддитивным технологиям со стороны крупного производства, рост рынка пока сдерживается высокой стоимостью оборудования (до 70% в структуре себестоимости) и относительно высокими затратами на расходные материалы. Наибольшее применение аддитивных технологий в ближайшие 5 лет ожидается в отрасли потребительской электроники, автомобилестроении, медицине, также активно растет интерес со стороны авиа- и аэрокосмической промышленности.

Рисунок 96. Структура рынка аддитивного производства по отраслям применения (прогноз на 2025 год, %)

Источник: «Аддитивное производство (Additive Manufacturing)», TAdviser по материалам Frost&Sullivan, 2018 [330]

Согласно данным отчета Wohlers Report 2019, объем мирового рынка аддитивного производства (продукты и услуги) вырос до $ 9,975 млрд в 2018 году, увеличившись почти на 62% за последние два года (на 33,6% с 2017 года) [331]. Эксперты компании прогнозируют, что к 2020 году мировой рынок достигнет $ 15,8 млрд, к 2022 году - $ 23,9 млрд и $ 35,6 млрд к 2024 году.

Рисунок 97. Рост рынка аддитивного производства (2016–2018 годы, $ млрд)

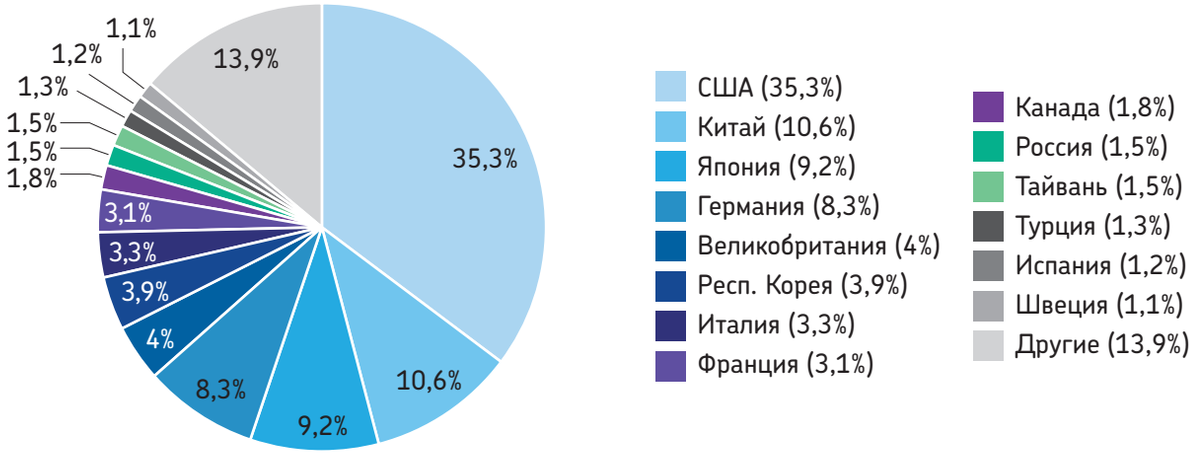


Источник: «Факторы, способствующие росту АТ», Wohlers, 2019 [332]

По данным SmarTech Publishing, глобальный рынок аддитивного производства 2018 года, включая оборудование, программное обеспечение, материалы и услуги составил $ 9,3 млрд, что на 18% больше, чем в предыдущем году. Прогнозируется, что к 2027 году рынок превысит $ 41 млрд [333].

Лидером на рынке аддитивного производства продолжают оставаться США, где доля установленных промышленных 3D-принтеров составляет 35,3%. Аналитики Wohlers Associates фиксируют, что в стране с 2017 по 2018 год произошел 50% рост количества производителей оборудования (33 компании) [334].

Рисунок 98. Распределение оборудования для аддитивного производства, установленного с 1988 по 2018 год, %



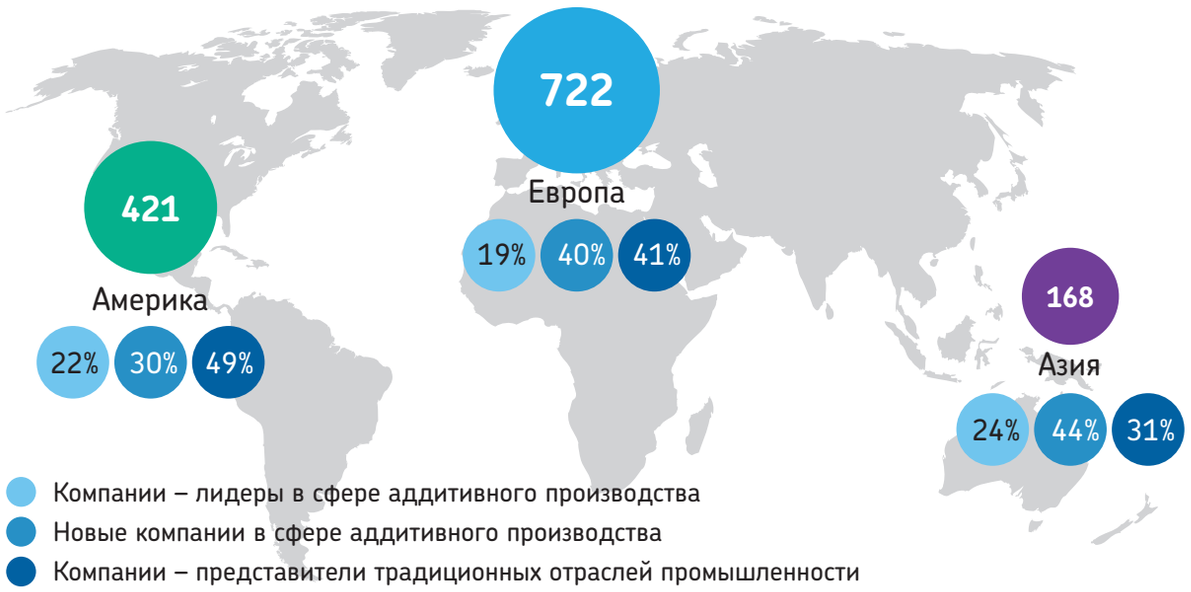
Источник: «Возвращение США в АТ», Wohlers, 2019 [334]

Штаб-квартиры 29% всех компаний рынка располагаются на территории Соединенных Штатов Америки, существенная часть представлена компаниями-лидерами, что способствует росту количества технологий и патентов. Второе место занимает Германия, на ее территории расположены 24% компаний. Тем не менее, по общему количеству компаний, работающих на рынке аддитивного производства европейский регион занимает лидирующую позицию – 55% компаний, Северная Америка – 32%, Азия – 13% [335].

Существенное влияние на развитие аддитивных технологий в США оказывают принятые правительственные инициативы. Учитывая тот факт, что отсутствие стандартизации остается одним из ключевых барьеров для ускорения внедрения аддитивных технологий в производство, в июне 2018 года институтом производственных инноваций America Makes (объединяет 225 компаний-членов) совместно с Американским национальным институтом стандартов (American National Standards Institute, ANSI) была разработана дорожная карта для аддитивного производства. В документе описывается 93 направления, по которым в настоящее время не существует опубликованных стандартов или технических требований, отвечающих конкретным потребностям отраслей. В документе также определены дополнительные направления НИОКР,

которые необходимо провести в процессе стандартизации. Дорожная карта размещена на специальном интернет-ресурсе и на регулярной основе обновляется с учетом информации от компаний, участвующих в создании документа (175 организаций) и непосредственно разрабатывающих стандарты [336]. Координационный совет America Makes и ANSI способствует разработке согласованного набора стандартов в области аддитивного производства.

Рисунок 99. Количество компаний, работающих на рынке аддитивного производства (2019 год)



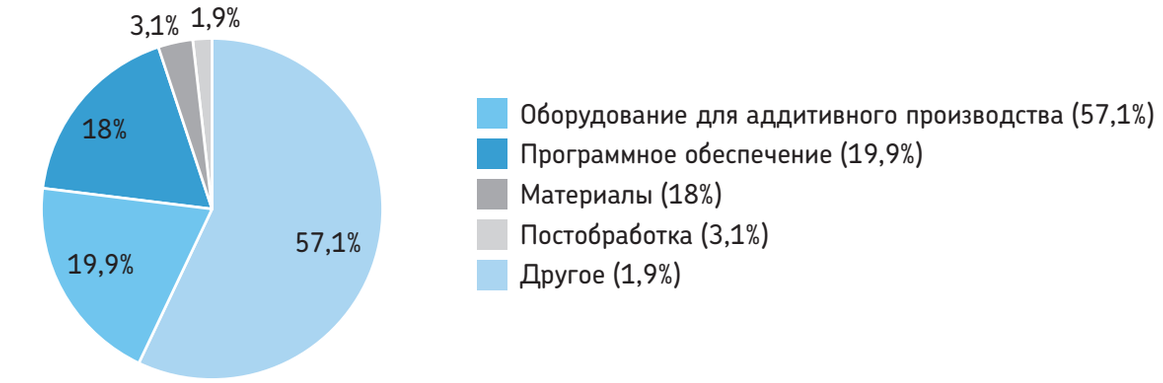
Источник:: «Как 3DP превращается из ажиотажа в революцию», EY, 2019 [335]

В развитии аддитивных технологий не отстают и страны Азии, где лидирующие позиции занимает Китай, чей рынок 3D-печати оценивается в $ 1,8 млрд в 2018 году [337] (3-й рынок после США и Европы). Правительство Китая в 2017 году выпустило план «Additive Manufacturing Industry Development Action Plan», в рамках которого предполагается, что к 2020 году аддитивное производство в стране достигнет $ 3 млрд. Ведется работа по поддержке перспективных компаний в области 3D-печати, разработке стандартов и подготовке квалифицированных специалистов в этой области.

Аддитивное производство предоставляет возможность для развития промышленных технологий членов Ассоциации государств Юго-Восточной Азии (ASEAN, Association of South East Asian Nations). На регион приходится всего 5–7% от общих расходов на аддитивное производство в Азии ($ 3,8 млрд). Внедрение технологий принесет около $ 100 млрд к 2025 году, позволит снизить зависимость региона от импорта (до 2%) за счет локализации производства [338].

Согласно аналитическому обзору «The Additive Manufacturing Landscape 2019», промышленное оборудование является самым большим сегментом в аддитивном производстве и составляет 57% [327].

Рисунок 100. Укрупненная структура рынка аддитивного производства по сегментам (2019 год, %)

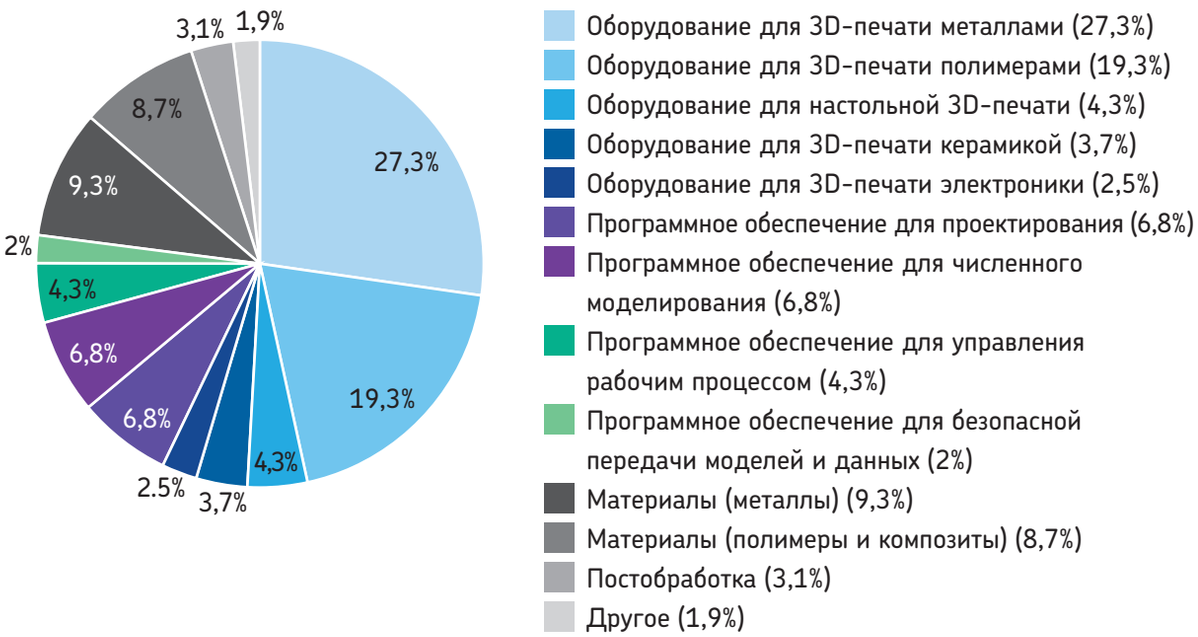


Источник: «АТ - пейзаж 2019. Основная информация о рынке АТ, основные тенденции и анализ», AMFG, 2019 [327]

При этом рынок в наибольшей степени представлен производителями оборудования для печати металлами (27,3%) и полимерами (19,3%). Стоит отметить резкое увеличение количества производителей оборудования за последние 10 лет, появились как новые игроки (Desktop Metal, Markforged, Carbon), так и компании, уже зарекомендовавшие себя (HP, GE Additive, Lincoln Electric) [327].

С учетом возрастающего интереса промышленных предприятий к возможностям 3D-печати производители стремятся предлагать решения с высокой скоростью и точностью печати. Примечательно, что в 2019 году «компаниями-единорогами» стали 3 компании именно из сферы аддитивного производства – поставщики оборудования: Desktop Metal (стоимость компании оценивается в $ 1,5 млрд), Carbon ($ 1,7 млрд), Formlabs ($ 1,06 млрд) [327].

Рисунок 101. Детализированная структура рынка аддитивного производства по сегментам (2019 год, %)



Источник: «АТ - пейзаж 2019. Основная информация о рынке АТ, основные тенденции и анализ», AMFG, 2019 [327]

Развивающиеся продуктовые направления:

1. Полимерная 3D-печать.

За последние годы технология получила промышленное применение и стала активно применяться в аддитивном производстве высококачественных компонентов. Решения на базе этой технологии широко предоставлены рыночными лидерами: 3D Systems, EOS, Stratasys и др. Такие компании как PEEK и ULTEM предлагают рынку исходное полимерное сырье для печати, обладающее высокими характеристиками для промышленного производства.

В качестве примера полимерной 3D-печати можно выделить растущий интерес к печати карбоновым пластиком (углеродное волокно), которое применяется уже такими гигантами, как Adidas, Ford and Lamborghini.

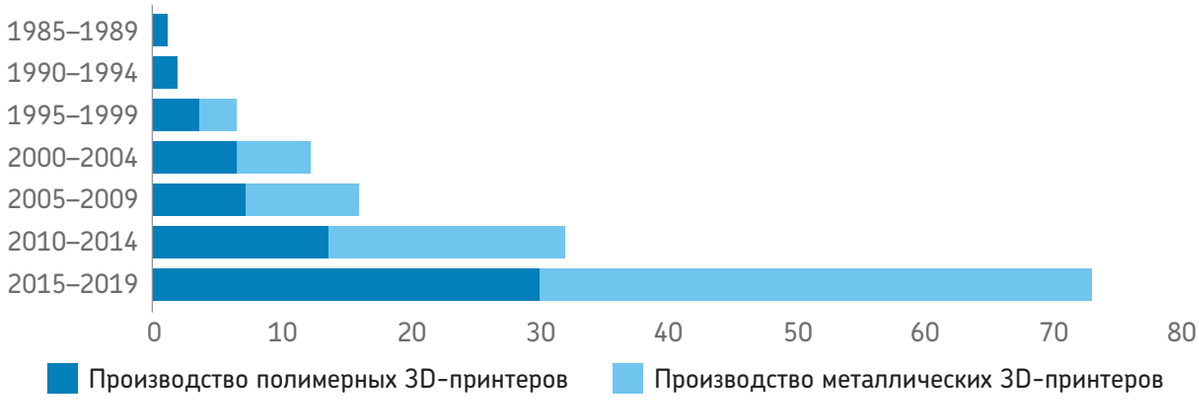
2. Технологии печати.

Помимо применения новых материалов для аддитивного производства, внедряются технологии, значительно ускоряющие процессы печати промышленного класса. В начале 2019 года компания Nexa3D представила свою новую технологию Lubricant Sublayer Photo-curing, позволяющую, по заявлениям компании, увеличить скорость печати промышленными принтерами в 6 раз, сохраняя точность и прочность детали.

3. Программное обеспечение.

На рынке программного обеспечения для аддитивного производства помимо решений для цифрового проектирования и моделирования появляются продукты для автоматизированного управления производственным потоком [327].

Рисунок 102. Рост числа производителей полимерных и металлических 3D-принтеров



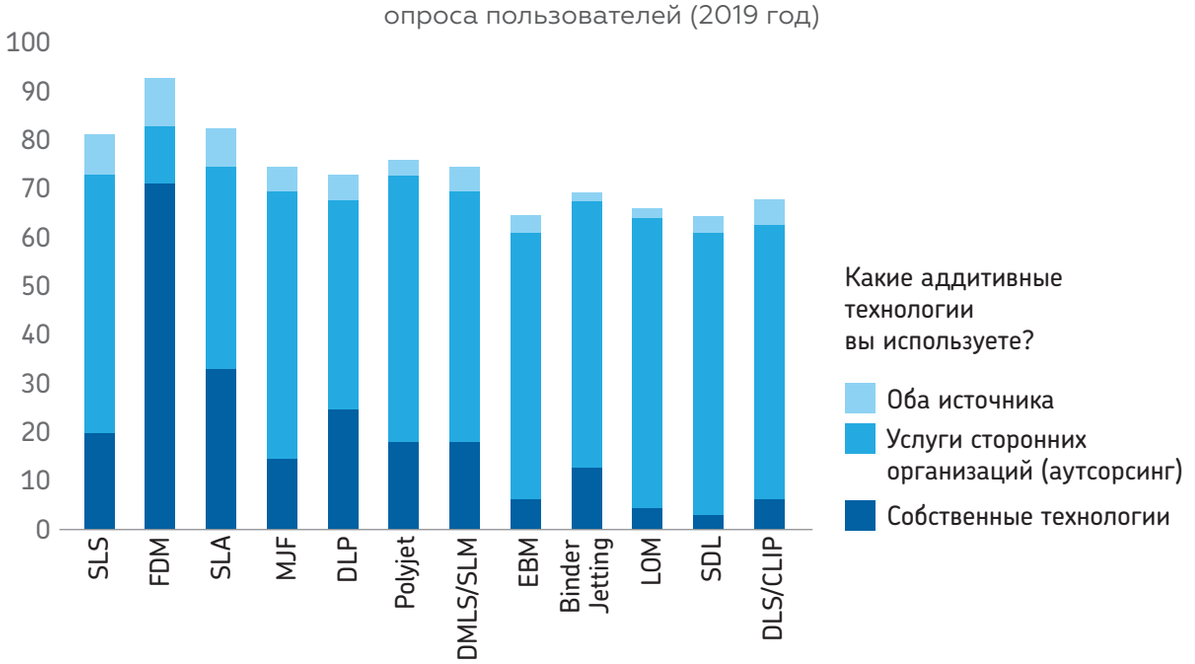
Источник: «AT - пейзаж 2019. Основная информация о рынке AT, основные тенденции и анализ», AMFG, 2019 [327]

В исследовании аналитической компании Context отмечается, что устойчивый рост поставок в области полимерной печати произошел благодаря рынкам в США и Европе, а также за счет роста производства у компаний Carbon (+65%) и HP (+31%) и существенного роста бизнеса Union Tech на внутреннем рынке Китая. В сегменте 3D-принтеров по металлу наблюдается тенденция удешевления. Так, если в 2017 году средняя цена такого 3D-принтера составляла $ 479 тыс., а некоторые наиболее продвинутые принтеры продавались по цене более $ 2 млн, то в 2018 году появилось направление настольных 3D-принтеров по металлу, которые продаются по $ 100–125 тыс. [339]

Согласно исследованию компании Sculpteo, в котором приняло участие 1300 человек из разных стран мира, 51% опрошенных использует аддитивные технологии в производстве, а не только

для прототипирования. Наиболее используемыми технологиями 3D-печати являются: моделирование методом осаждения с плавлением (Fused Deposition Modeling, FDM), селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering, SLS), стереолитография (Stereolithography, SLA).

Рисунок 103. Наиболее используемые технологии 3D-печати и их источник по результатам опроса пользователей (2019 год)



Источник: «Состояние 3D-печати 2019», Sculpteo, 2019 [340]

По мнению 70% респондентов, важным преимуществом 3D-печати является возможность производства деталей со сложной геометрией (например, ячеистые структуры), 40% отмечают – сокращение времени создания продукта. Среди факторов, препятствующих более широкому распространению аддитивных технологий, респонденты назвали: стоимость «входа» (64%), недостаток знаний в данной области (52%) [340].

Рынок 3D-печати в России за последние 8 лет вырос в 10 раз, а совокупные продажи оборудования, материалов и услуг в области аддитивного производства (включая НИОКР) выросли до 4,5 млрд руб. в год ($ 69 млн, оценка 2018 года) [341]. По состоянию на июль 2019 года для аддитивных технологий Росстандарт утвердил 12 ГОСТов, ввел в действие 10 ГОСТов из 39 планируемых до конца 2019 года [342].

4.4. Рынок промышленной сенсорики

Промышленные сенсоры являются ключевой технологией автоматизации производства и Индустрии 4.0 и представляют собой устройства, которые могут обнаружить события, изменения в окружающей среде и обеспечить соответствующий выходной сигнал.

По утверждению Globe Newswire, глобальный рынок промышленной сенсорики по итогам 2018 года составил $ 16 млрд. В соответствии с оценкой Zion Market Research, ожидаемые темпы роста рынка (CAGR) в период с 2019 по 2025 год составят 6,16%, таким образом, на конец прогнозируемого периода объем рынка может вырасти до отметки $ 24,3 млрд [343].

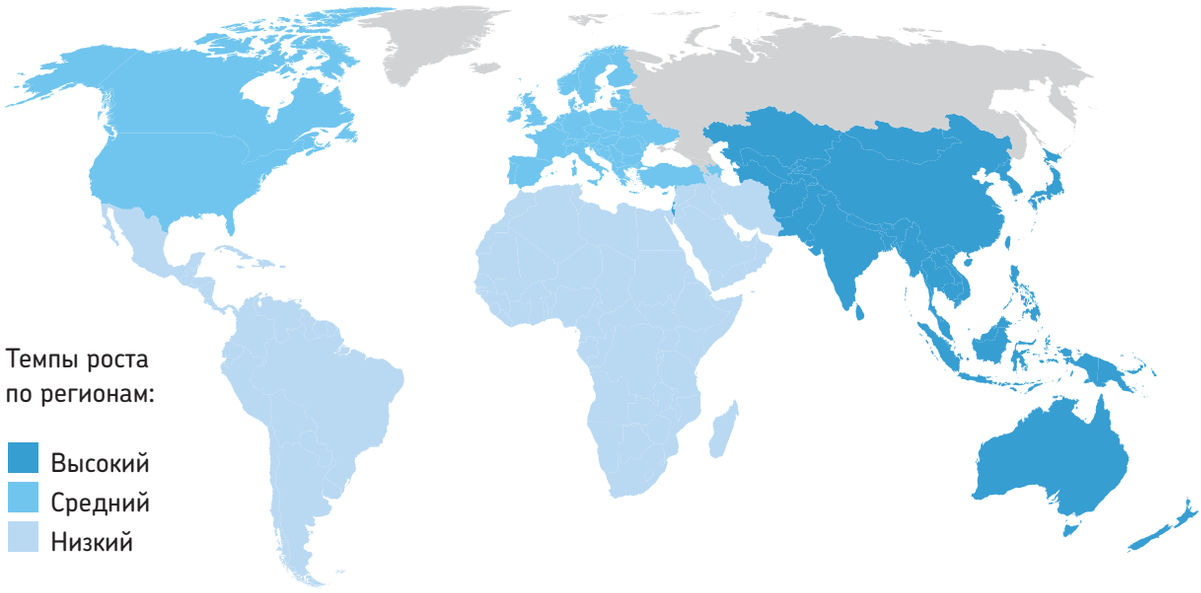
TechNavio прогнозирует среднегодовой темп роста рынка на уровне около 8% в период 2018–2022 годов [344].

По данным Research and Markets, показатель CAGR рынка промышленной сенсорики может составить порядка 7%, а ожидаемый объем выручки достигнет $ 29,9 млрд к 2025 году [345]. Такие же среднегодовые темпы роста ожидаются согласно прогнозу Mordor Intelligence [346].

Согласно отчету Technavio, рост мирового рынка промышленных датчиков обусловлен увеличением спроса на решения IIoT, а также развитием концепции «умных» фабрик, требующей внедрения технологий контроля в режиме реального времени. В частности, драйвером развития рынка в ближайшее время может стать растущий спрос на технологии интеллектуального мониторинга в нефтяной и газовой отраслях [344]. Еще одним фактором роста рынка может стать более широкое распространение технологий промышленной робототехники [346].

Согласно прогнозам Zion Market Research, в ближайшие несколько лет самые высокие темпы роста рынка ожидаются в Азиатско-Тихоокеанском регионе, в частности в Китае и Индии. Mordor Intelligence аналогично прогнозирует, что самую большую долю на рынке в период с 2019 по 2024 год займет Азиатско-Тихоокеанский регион, чему во многом будут способствовать технический прогресс в целом и быстрая индустриализация [343].

Рисунок 104. Прогноз развития рынка промышленной сенсорики по регионам в 2019–2024 годах



Источник: «Рынок промышленных датчиков. Рост, тенденции и прогноз (2021–2026 гг.)», Mordor Intelligence, 2020 [346]

В качестве драйверов, способствующих высоким темпам развития рынка промышленной сенсорики, выделяют:

1. Снижение стоимости как самих сенсоров, так и связанных с ними технологий, в первую очередь, IIoT-платформ, на фоне расширения области применения сенсоров и значительных инвестиций в НИОКР в данной области.

2. Переориентацию на предиктивное техобслуживание и удаленный мониторинг оборудования в различных отраслях промышленности по всему миру.

3. Перевод деятельности все большего числа предприятий в интеллектуальные среды с цифровым управлением и преобразованием существующего частично автоматизированного оборудования в полностью автоматизированное и интегрированное с целью повышения качества, скорости и производительности.

4. Развитие бесконтактных пользовательских интерфейсов и их внедрение в автомобили.

5. Более широкое внедрение промышленных роботов, использующихся в различных отраслях [346].

Рынок промышленных сенсоров является умеренно фрагментированным в силу присутствия на нем признанных производителей. Лидеры внедряют передовые технологии для разработки разнообразных продуктов для конечных пользователей в разных отраслях. Среди ведущих производителей рынка промышленных сенсоров различные аналитические агентства выделяют ряд компаний.

Таблица 29. Компании – лидеры на рынке промышленной сенсорики

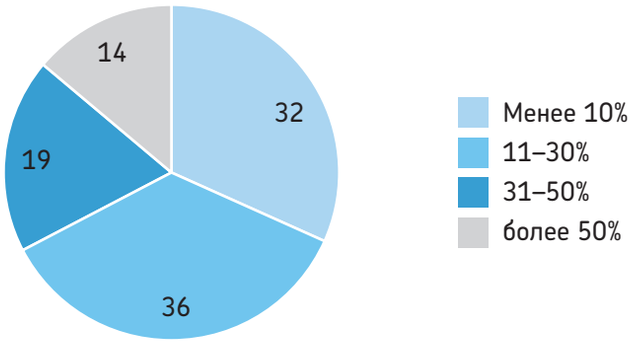
	Страна	Выручка в 2018 году ($ млрд)	Расходы на НИОКР в 2018 году ($ млрд)
Amphenol Corporation	США	7,011	0,194
Robert Bosch	Германия	93,679	7,121
Endress+Hauser	Швейцария	2,689	0,205
Honeywell International	США	40,534	1,835
Microchip	США	3,408	0,529
NXP Semiconductors	Нидерланды	9,41	Н/Д
Panasonic	Япония	69,147	4,227
Rockwell Automation	США	6,311	0,348
Safran Colibrys	Франция	20,509	1,147
Siemens	Германия	98,155	6,103
STMicroelectronics	Нидерланды	8,313	1,279
TE Connectivity	Швейцария	13,113	0,658
Teledyne Technologies	США	2,604	0,178
Texas Instruments	США	14,961	1,508

Рынок промышленной сенсорики в России

Российский рынок промышленной робототехники и сенсорики по оценке Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, в 2018 году достиг объема примерно в 10 млрд рублей. Прогнозируется, что в период до 2024 года среднегодовые темпы роста рынка составят 10%, в результате чего совокупный объем рынка достигнет 17,4 млрд рублей к концу периода [347, 348].

В ходе экспертного опроса IT-компаний в 2018 году TAdviser и ГК «Ростех» была выявлена степень внедрения промышленной сенсорики на российских предприятиях. Всего 14% предприятий охватили датчиками более 50% оборудования, в то время как на 68% предприятий менее 30% оборудования оказалось задействованным в цифровизации предприятия. Таким образом, в 2018 году внедрение сенсоров на российских предприятиях находилось на начальном уровне [349].

Рисунок 105. Доля оборудования предприятий, охваченного датчиками IIoT (2018 год, %)



Источник: «Промышленный интернет вещей в России. Исследование TAdviser и ГК “Ростех”», TadViser, 2018 [349]

4.5. Рынок робототехники

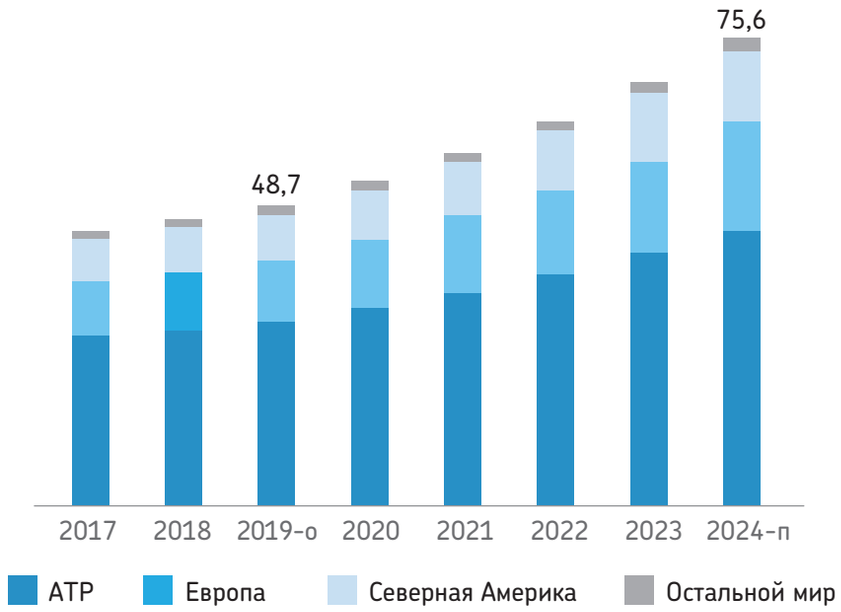
Глобальный рынок промышленной робототехники (в разрезе отгруженных единиц без учета сервисов) к 2026 году ожидает трехкратный рост с 2018 года до $ 59,9 млрд со среднегодовым темпом прироста в 15,7% [350]. Количество отгруженных единиц к 2021 году может составить 630 тыс. шт., увеличившись вдвое по сравнению с 2017 годом [351].

С учетом сервисов и программных решений объем рынка в 2017 году составлял $ 48 млрд. Объем сервисов достиг примерно $ 28 млрд, включая ПО, услуги по установке и подключению роботов и дополнительного аппаратного обеспечения (фиксаторы, конвейеры, решения для безопасности и т.д.) [351]. Таким образом, глобальный рынок может вырасти до $ 75,6 млрд к 2024 году [351].

Рисунок 106. Сегментация рынка промышленной робототехники в разрезе поставок и сервисов по состоянию на 2017 год ($ млрд)

Источник: «Промышленная робототехника: взгляд на динамику будущего роста сектора», McKinsey, 2017 [351]

Рисунок 107. Рост глобального рынка промышленной робототехники по регионам
(о – предварительная оценка, п – прогноз)



Источник: «Объем рынка промышленной робототехники, доля, отраслевой анализ и прогноз рынка до 2024 года», Marketsandmarkets, 2019 [352]

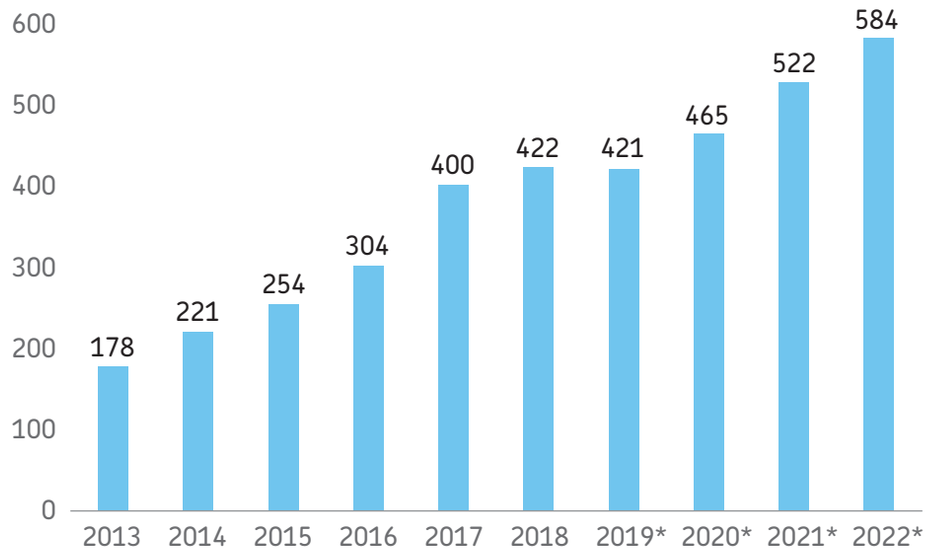
Согласно оценке Research and Markets, рынок промышленных роботов (не включающий стоимость компонентов, программного обеспечения и системный инжиниринг) в мире в 2018 году достиг объема в $ 16,9 млрд. Ожидается, что среднегодовые темпы роста рынка в период с 2019 по 2024 год составят 12%, а объем достигнет $ 31,7 млрд. В натуральном выражении в 2018 году в мире установлено 420 тысяч роботов, при этом объем будет расти темпами 12,7% в год и достигнет 774 тысяч роботов в 2024 году [353].

При этом объем мирового рынка промышленной робототехники в целом составил $ 45,7 млрд в 2018 году, ожидается, что рынок будет расти темпами 7,8% в год и достигнет объема $ 69,8 млрд в 2024 году [353].

В конце 2019 года Research and Markets скорректировало оценку и прогноз: объем рынка индустриальных роботов в 2018 году составил $ 48,7 млрд, по прогнозу объем в 2024 году составит $ 75,6 млрд, а среднегодовые темпы роста – 9,2%. По мнению аналитиков, драйверами развития станет сокращение квалифицированных кадров на производствах, что приведет к росту автоматизации, росту популярности коллаборативных роботов [354].

По оценке Всемирной ассоциации робототехники (International Federation of Robotics, IFR), количество промышленных роботов, установленных в 2018 году, составило 422 271 единиц, а объем рынка в целом составил $ 16,5 млрд. При этом количество роботов, находящихся в эксплуатации, составило 2 440 тыс. единиц [355].

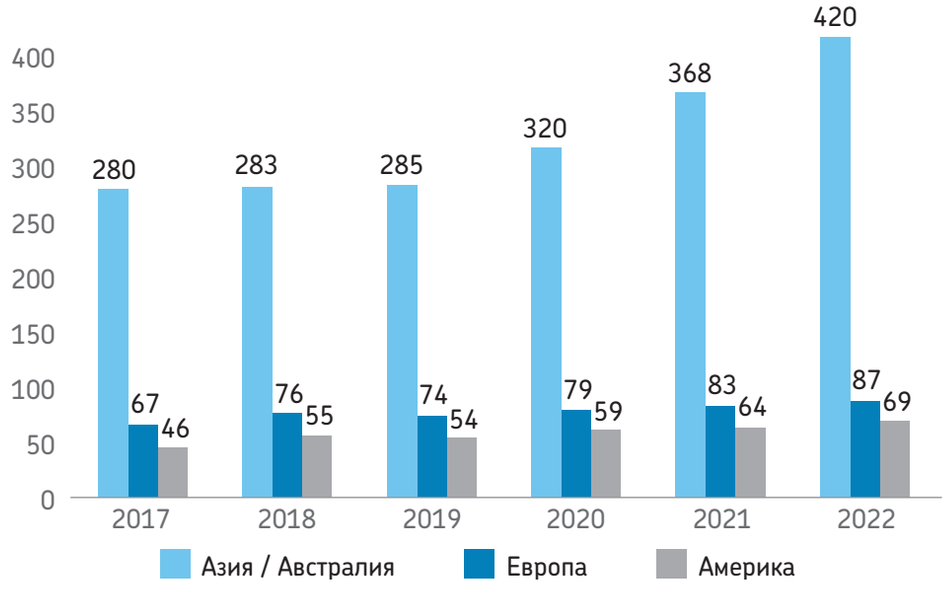
Рисунок 108. Количество ежегодно устанавливаемых промышленных роботов в мире (2013–2018 годы, 2019–2022 годы – прогноз, тыс. ед.)



Источник: «Презентация IFR World Robotics», IFR, 2019 [355]

По оценке IFR, наибольшее количество устанавливаемых промышленных роботов приходится на страны азиатского региона (283 тыс. единиц в 2018 году). Поставки индустриальных роботов в Европу составили в 2018 году 26,8% от уровня поставок в Азию, или 76 тыс. единиц, при этом поставки в Америку составили 19,4% от поставок в азиатский регион, или 55 тыс. ед. [355]

Рисунок 109. Количество ежегодно устанавливаемых промышленных роботов в различных регионах мира (2017–2018 годы, 2019–2022 годы – прогноз, тыс. ед.)

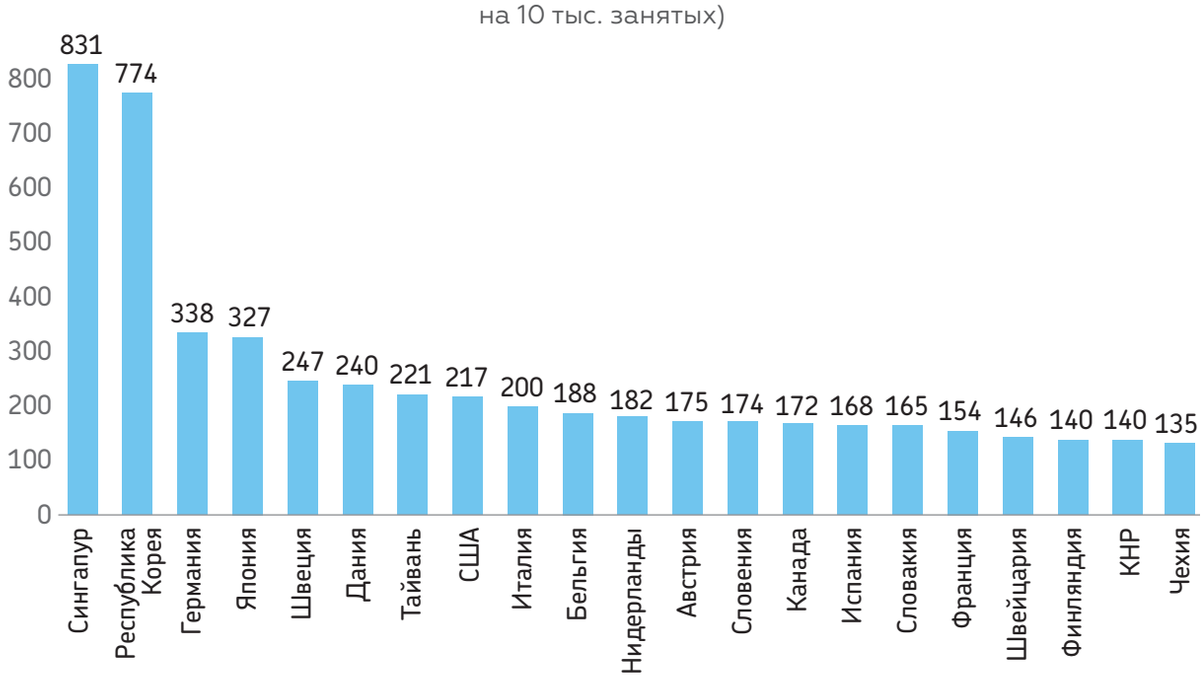


Источник: «Презентация IFR World Robotics», IFR, 2019 [355]

По прогнозу IFR, основное количество установленных промышленных роботов будет приходиться на азиатский регион, при этом значительный прирост ожидается в 2021 году – 368 тысяч установок индустриальных роботов в странах Азии [355].

Наиболее высокая плотность роботизации из расчета количества промышленных роботов на 10000 занятых наблюдается в Сингапуре (831 робот) и в Республике Корея (774 робота) на третьем месте – Германия (338 роботов).

Рисунок 110. Плотность роботизации по странам мира в 2018 году (промышленные роботы на 10 тыс. занятых)

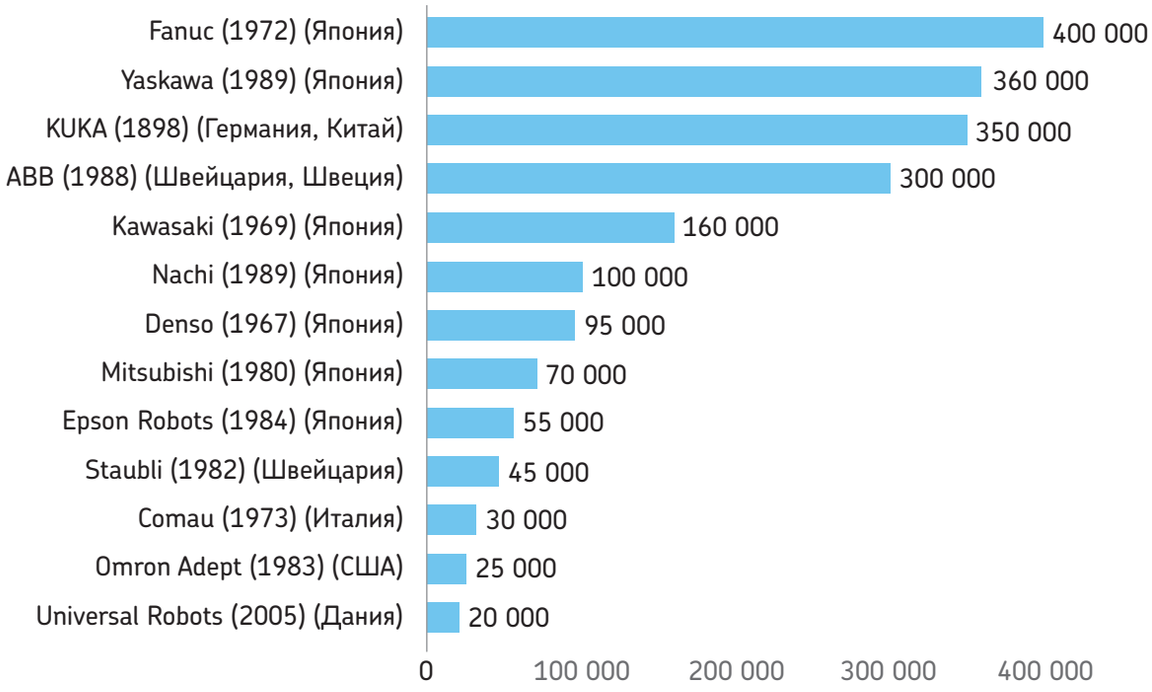


Источник: «Презентация IFR World Robotics», IFR, 2019 [355]

Среднее количество роботов по странам Европы – 114 ед., странам Америки – 99 ед., странам Азии – 91 ед., среднее количество промышленных роботов по всем странам мира – 99 ед. [355]

Лидерами по установленным в настоящий момент промышленным роботам являются такие компании, как Fanuc (400 тыс. роботов), Yaskawa (360 тыс. роботов), KUKA (350 тыс. роботов) и ABB (300 тыс. роботов) [356].

Рисунок 111. Мировые лидеры – компании (год основания) и количество установленных ими промышленных роботов за всё время (по данным на середину 2018 года), единиц



Источник: «Презентация IFR World Robotics», IFR, 2019 [355]

Лидером по производству промышленных роботов является Япония: 8 крупнейших производителей роботов.

В Российской Федерации, по данным Национальной ассоциации участников рынка робототехники (НАУРР), в 2018 году было установлено 1007 промышленных роботов – поставки увеличились на 43% по сравнению с 2017 годом. При этом показатель плотности роботизации – 5 роботов на 10 тыс. занятых в России – в 20 раз меньше среднего показателя в мире [357], и лишь 5% установленных роботов произведено в России [358].

На рынке промышленной робототехники можно выделить несколько ключевых тенденций в части предлагаемых решений:

1. Развитие сегмента коллаборативных роботов.

   Ожидается дальнейший рост поставок коллаборативных роботов класса SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) в фармацевтической и автомобильной промышленности, производстве электроники и пищевых продуктов [359]. В настоящий момент коллаборативные роботы пока еще проигрывают традиционным в части скорости, точности и гибкости и целесообразны не во всех отраслях.

2. Внедрение специализированных роботов по всей производственной цепочке.

   Степень автоматизации всех производственных процессов будет нарастать – в последние годы увеличиваются темпы внедрения роботов, выполняющих вредную и опасную или монотонную для человека работу: шлифовка металла, фрезерование, полировка и др. [354]

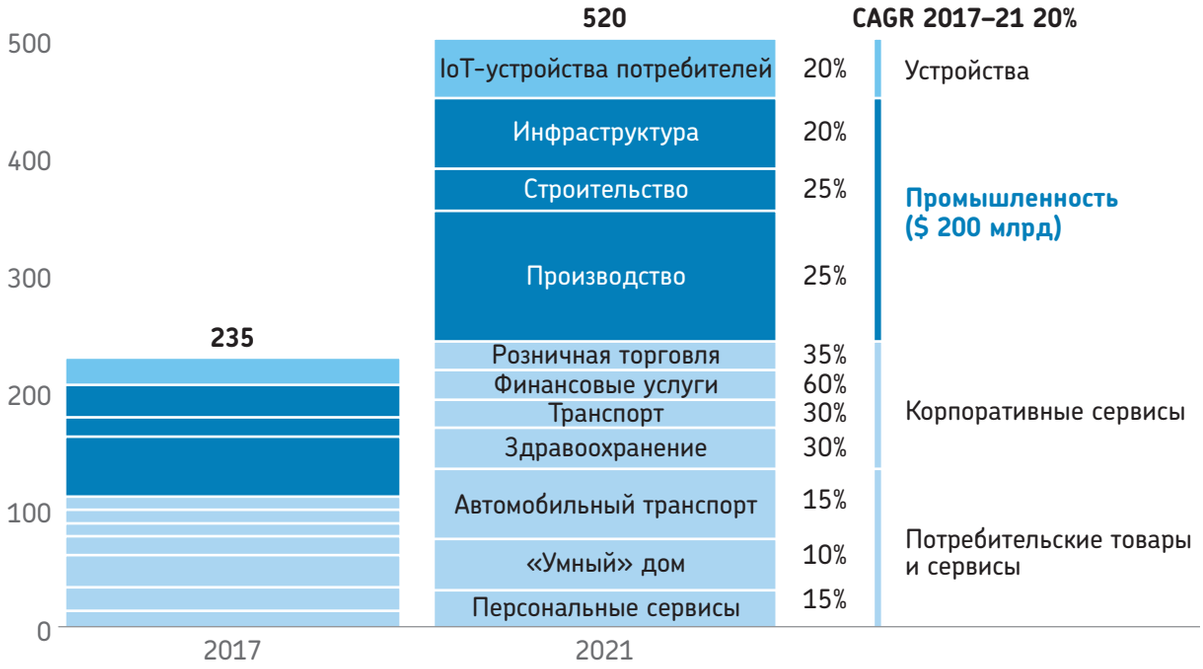
4.6. Рынок промышленного Интернета

Промышленный Интернет вещей (промышленный Интернет, индустриальный Интернет, Industrial Internet of Things, IIoT) представляет собой систему взаимосвязанных датчиков, приборов и других устройств, объединенных в сеть с целью управления производственными процессами в автоматизированном режиме. IIoT позволяет собирать, перенаправлять и анализировать данные, что потенциально способствует повышению производительности и эффективности, а также другим экономическим преимуществам [360].

IIoT опирается на такие технологии как облачные вычисления (Cloud computing), киберфизические системы (Cyber-physical system), граничные вычисления (Edge computing), мобильные технологии, межмашинную печать, 3D-печать (3D printing), передовую робототехнику (Advanced Robotics), большие данные (Big data), Интернет вещей (Internet of Things), технологии RFID и когнитивные вычисления, искусственный интеллект (Artificial Intelligence) и машинное обучение (Machine Learning) и др. [360, 361]

Прогнозируемый объем глобального рынка промышленного Интернета вещей к 2021 году составит $ 200 млрд и будет одним из крупнейших сегментов глобального рынка IoT [362].

Рисунок 112. Прогноз глобального рынка IoT до 2021 года ($ млрд)



Источник: «Больше чем просто экспериментальное подтверждение: масштабирование промышленного Интернета вещей», Bain&Company. 2019 [362]

Markets and Markets прогнозирует, что в период с 2020 по 2025 год рынок IIoT вырастет с $ 77,3 млрд до $ 110,6 млрд при совокупном годовом темпе роста в 7,4% [363].

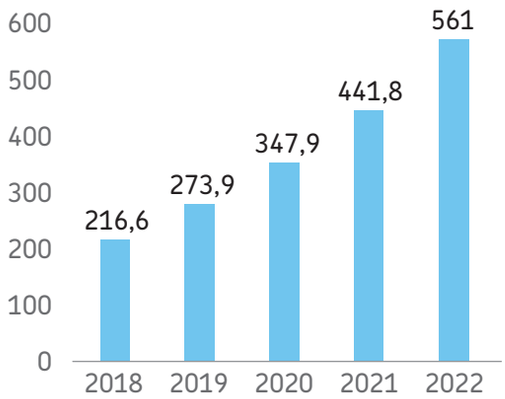
По версии Market Research Engine, при темпах роста более 8% в год объемы рынка уже в 2022 году достигнут $ 176 млрд [364].

Zion Market Research оценивал в 2017 году объемы глобального рынка IIoT в $ 145,81 млрд и к 2023 году прогнозировал достижение объема в $ 232,15 млрд при темпах роста 8,06% [364].

Transparency Market Research ожидает, что в 2026 году объемы рынка, ежегодно увеличиваясь в среднем на 24,3%, составят $ 991,5 млрд [365].

По версии российского интернет-портала TAdviser, мировой рынок IIoT к 2022 году будет составлять $ 561 млрд [366].

Рисунок 113. Прогноз объема рынка IIoT в мире в 2018–2022 годах ($ млрд)



Источник: Промышленный Интернет вещей в России, TAdviser, 2019 [366]

По версии Markets and Markets, в период с 2020 по 2025 год наибольшая доля в объеме рынка промышленного интернета вещей придется на страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Способствовать сохранению лидирующей позиции за данным регионом будет ряд факторов: 1) активное внедрение IoT в различные отрасли промышленности; 2) растущее внимание компаний из различных секторов к преимуществам, получаемым от внедрения технологии IIoT; 3) огромный спрос на технологии IIoT в странах с быстро увеличивающимся количеством конечных пользователей [363].

Аналитическое агентство Transparency Market Research и компания PTC отводят в исследованиях Азиатско-Тихоокеанскому региону лишь третью позицию. Transparency Market Research в период с 2018 по 2026 год прогнозирует, что наибольшую часть рынка IIoT обеспечит Северная Америка, следом за которой – страны Европы, благодаря государственным инициативам, внедряемым в рамках Индустрии 4.0 [365]. В опросе, проведенном PTC в 2018 году, США заняли первое место по внедрению IIoT (выбрали 45% респондентов), за ними следуют страны Европы (в том числе Россия), Ближнего Востока и Африки (EMEA, Europe, the Middle East and Africa) (33%) и Азиатско-Тихоокеанский регион (22%) [цит. по: 367, 368].

Согласно исследованию PTC, ведущими по внедрению IIoT секторами в 2018 году были промышленные товары (25%), электроника и высокие технологии (23%) и автомобили (13%). Доминирование данных секторов объясняется возможностью налаживания с помощью IIoT гибкого, отказоустойчивого, эффективного процесса в рамках сложных производственных и эксплуатационных операций, требующих высокопроизводительного оборудования. В исследовании PTC также отмечается, что в 48% случаев применение IIoT относится непосредственно к этапам производства и эксплуатации, на которых собранные данные могут быть использованы для корректировки деятельности, прогнозирования и повышения общей операционной эффективности. Интеллектуальные возможности IIoT позволяют производителям повысить пропускную способность, улучшить качество продукции и снизить производственные затраты [цит. по: 367, 368].

По версии Transparency Market Research в период с 2018 по 2026 год на долю производства будет приходиться около 35% мирового рынка промышленного IIoT в связи с увеличивающимся внедрением Интернета вещей в сектор обрабатывающей промышленности [365]. Кроме того, максимальные среднегодовые темпы роста в прогнозируемый период ожидаются в сфере здравоохранения в связи с возможностью улучшения медицинского обслуживания и диагностики посредством IIoT, в том числе благодаря возможности внедрения IIoT в локальной среде отдельных медицинских учреждений. По данным исследования PTC в 2018 году внедрение IIoT в в локальной среде организаций значительно превысило внедрение в облаке (62% против 38%) [цит. по: 368].

Industry Research ожидает, что в период с 2019 по 2024 год устойчивый рост внедрения IIoT будет сохраняться в транспортной отрасли в связи со стабильными инвестициями в железнодорожные, автомобильные и городские транспортные проекты. Технология позволяет обрабатывать большое количество данных, поступающих от транспортных средств, и осуществлять обмен информацией, что в перспективе должно способствовать сокращению трафика, повышению безопасности и в целом переходу транспортной отрасли на новый уровень [368].

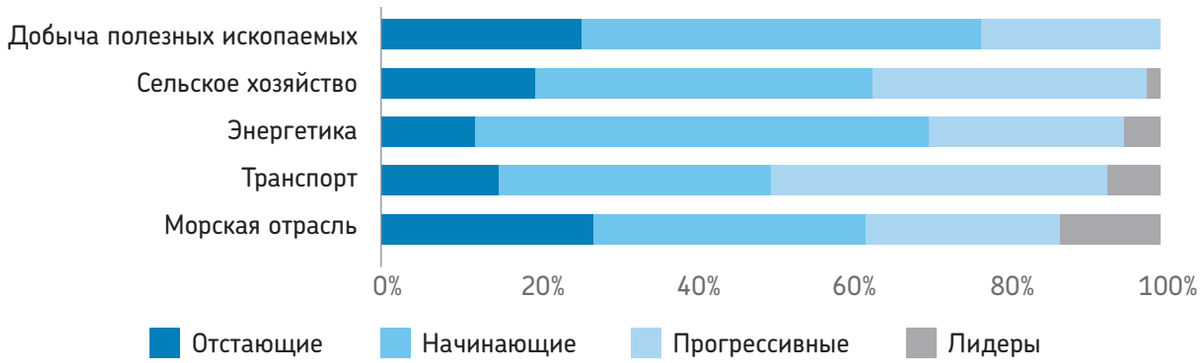
В результате исследования PTC было выявлено, что основную часть организаций, внедряющих IIoT в 2018 году, составили организации с доходом более $ 500 млн (58%), еще треть (31%) – быстроразвивающиеся компании с доходами менее $ 100 млн. При этом 83% респондентов были готовы перевести предприятия с пилотного тестирования на полноценное внедрение IIoT в производство на постоянной основе [цит. по: 368].

Рисунок 114. Распределение отраслей экономики по внедрению технологий IIoT (%)

Источник: «Больше не является новым: промышленный Интернет вещей и дополненная реальность – важнейшие бизнес-инвестиции для организаций в 2018 году», PTC, 2018 [цит. по: 367]

В 2018 году агентством Vanson Bourne было проведено исследование внедрения IIoT на море и суше для международной компании спутниковой связи Inmarsat, в ходе которого было опрошено 750 представителей компаний со штатом более 500 человек. Около половины изученных предприятий отметили использование технологий IIoT: 21% предприятий полностью внедрили технологии в производство; 25% – находились на стадии пилотирования технологий; 26% – планировали начать внедрение IIoT в течение полугода – года. Четверть респондентов ожидала потратить более 10% ИТ-бюджета на технологию IIoT в течение следующих трех лет, в целом ожидая хорошую отдачу от инвестиций: сокращение операционных расходов на 10% и увеличение оборота на 5% к 2021 году, и на 17% и 10% соответственно к 2023 году. В рамках исследования компании-респонденты были протестированы на уровень готовности к внедрению решений IIoT. Представители каждой отрасли промышленности были оценены по шести показателям («внедрение», «безопасность», «возможности подключения», «навыки», «базы данных», «инвестиции») и разбиты на четыре категории готовности: «Отстающие» (Laggards), «Начинающие» (Starters), «Прогрессивные», «Лидеры» (Leaders). В результате было выявлено, что морской и транспортный секторы лидируют по уровню готовности [369].

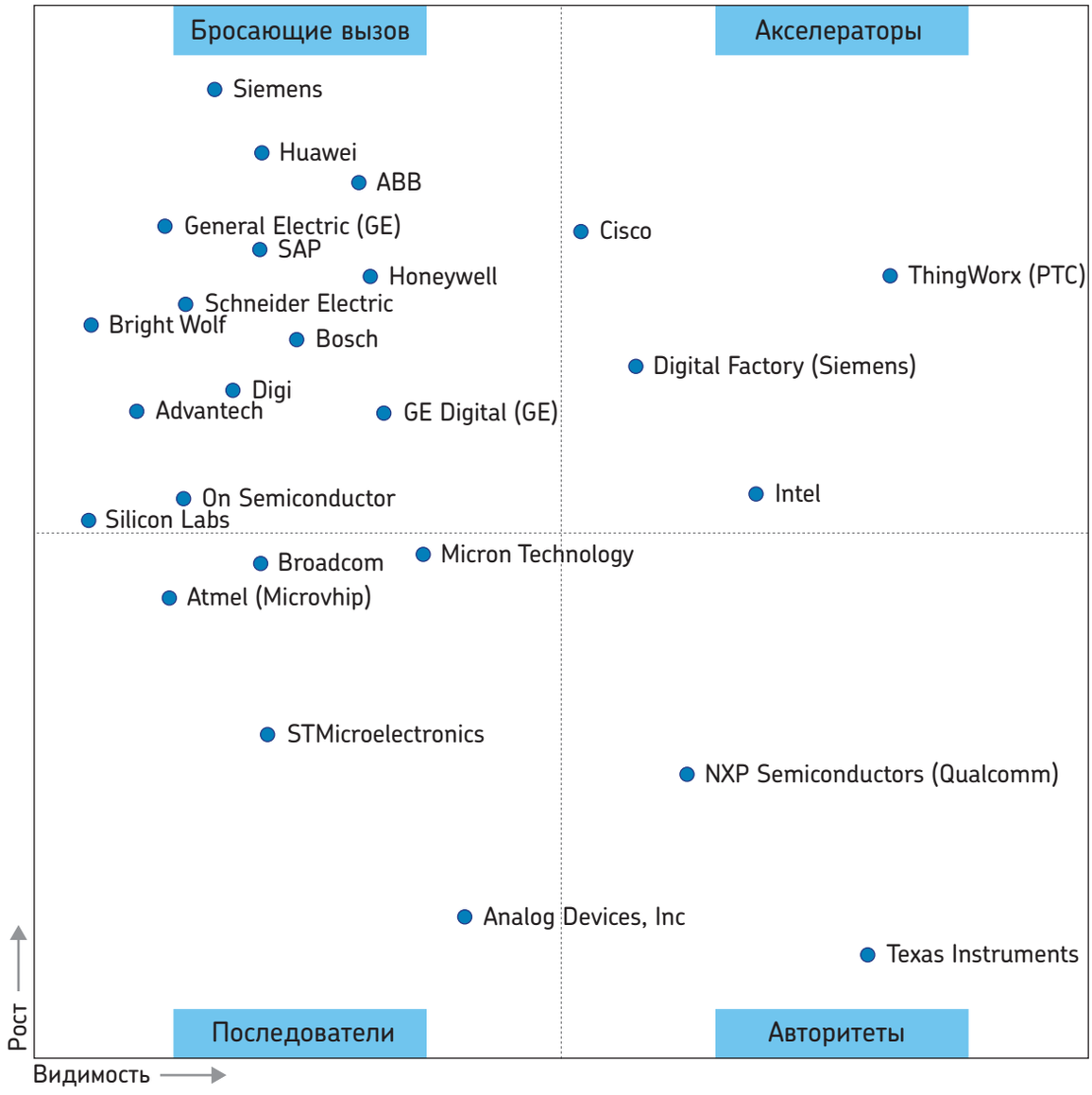
Рисунок 115. Уровень готовности предприятий к решениям IIoT по отраслям экономики



Источник: «Промышленный Интернет вещей: руководство по развертыванию, поставщикам и платформам», Zdnet, 2019 [370]

В 2018 году, по версии Forbes IIoT – компаниями – лидерами в своих сегментах стали: Amazon Web Services (AWS), Inc., Cisco Systems, CyberHat, Dell Technologies, IBM, IFS AB, Inocybe Techno-logies, Jabil Inc. [371] Manufacturing Technology Insights в качестве лидеров 2018 года выбрала: Atollogy, Axzon, EXOR, Sightline Systems, Applied Dynamics International, Biztech, DATTUS, FogHorn Systems, Kx Systems, PTC [372]. Ежегодную премию IoT Breakthrough в 2018 году получили: Emerson, Kepware, CREE, MachineMetrics, Philips, Rice Electronics, Esprida, Building DNA, InterDigital [373]. Консалтинговой фирмой IoT ONE был составлен Топ-500 лучших IIoT компаний, среди которых были отобраны 25 лучших [374]:

Рисунок 116. Рейтинг 25 лучших компаний в сфере IIoT (2018 год)



Источник: IoT One [374]

К основным драйверам развития IIoT аналитические агентства относят следующие:

- Технологические достижения в развитии полупроводниковых и электронных устройств, в первую очередь в промышленной сенсорике (MarketsandMarkets Research) [363].
- Сбор данных с использованием эффективных инструментов безопасности, аналитика больших данных, разработка аппаратных устройств с низким энергопотреблением,

робототехника и автоматизация, облачная интеграция и интеллектуальные датчики (Transparency Market Research) [365].

- Разработка и внедрение промышленных IIoT-платформ (IoT Analytics) [372].

Фундаментом производства, основанного на цифровых данных, являются IIoT-платформы – аппаратно-программные комплексы, соединяющие устройства и оборудование и позволяющие управлять потоками данных и приложениями [375].

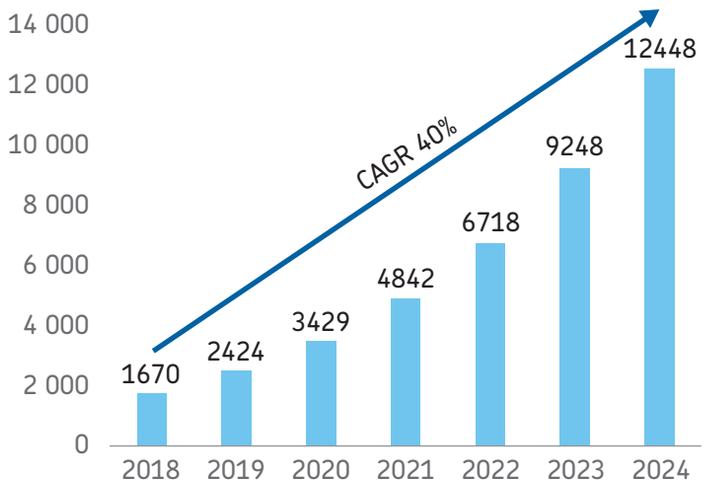
По расчетам IndustryARC, глобальные расходы на IIoT-платформы в 2018 году составили $ 17,2 млрд и в период с 2019 по 2025 год будут расти с совокупным годовым темпом роста 26,1%. Основными областями применения платформ IIoT будут транспортная и нефтегазовая отрасли, для которых в прогнозируемом периоде совокупные годовые темпы роста составят 31,3% и 12,1% соответственно [376].

MarketsandMarkets Research в 2018 году оценивало мировой рынок IIoT-платформ в $ 3,27 млрд. Согласно прогнозу, в период с 2018 по 2023 год совокупные темпы роста составят 33,4%, в результате чего объемы рынка IIoT-платформ достигнут $ 13,82 млрд к 2023 году [376].

Согласно прогнозу IoT Analytics, глобальные расходы на производственные платформы IIoT вырастут с $ 1,67 млрд в 2018 году до $ 12,44 млрд в 2024 году, достигнув совокупного годового темпа роста в 40%.

IIoT-платформы внедряются в качестве центральной основы дискретных производственных сред, обеспечивая дистанционное управление, возможности непрерывного мониторинга оборудования, предоставляя доступ к новым потокам данных и обеспечивая внедрение новых возможностей, таких как предиктивное обслуживание, с целью повышения эффективности, прибыльности и производительности всех операций на предприятии, качества продукции. IoT Analytics ожидает, что дискретное производство составит наибольшую долю среди расходов на IIoT-платформы в 2019 году, увеличившись в среднем на 46% по сравнению с 2018 годом. Дискретное производство будет опережать серийное и технологическое производство, составляя 53% от всех расходов на платформы IIoT [372].

Рисунок 117. Прогноз рынка платформ IIoT в 2018–2024 годах ($ млн)



Источник: «Топ-10 компаний, предлагающих решения для промышленного Интернета вещей», IoT-analytics, 2018 [372]

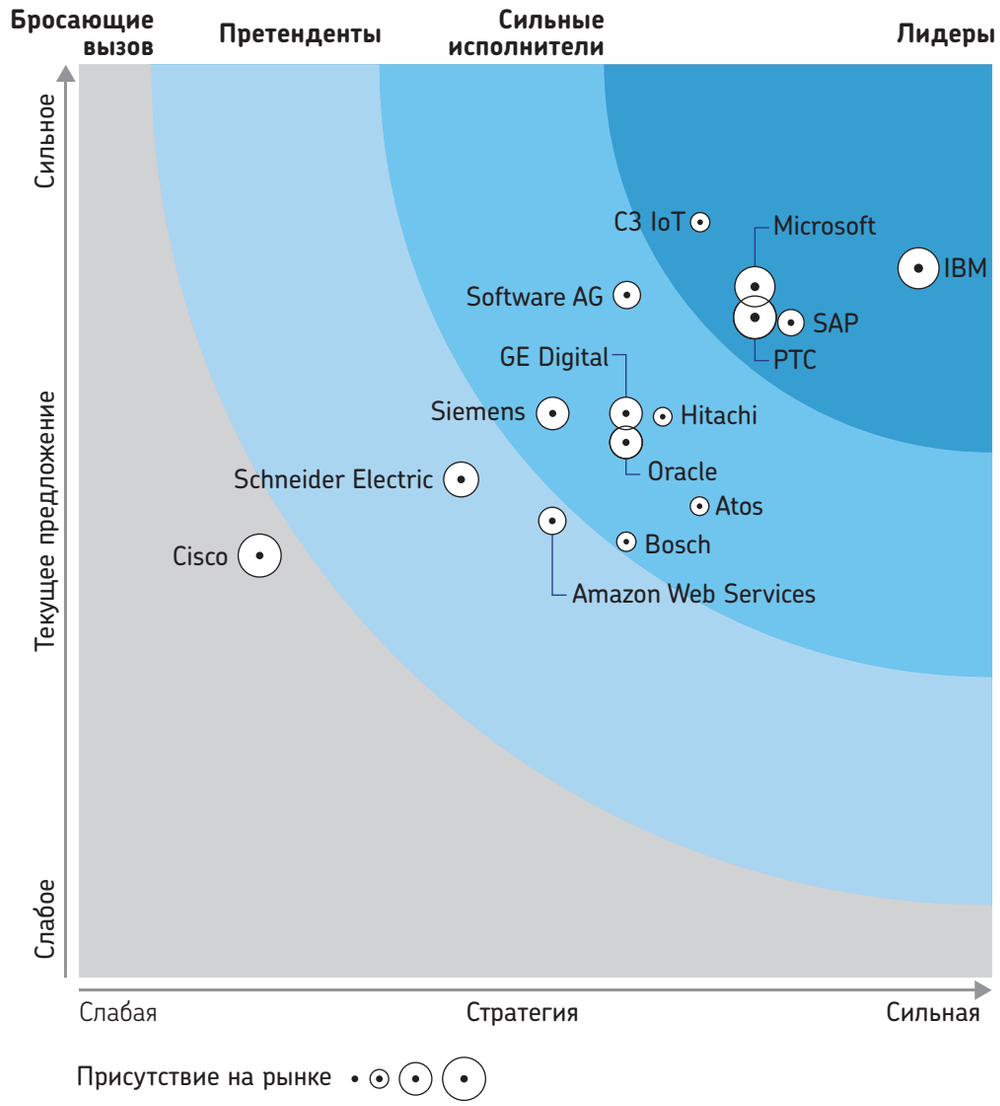
В аналитических отчетах McKinsey и IoT Analytics отмечается, что цифровые промышленные IIoT-платформы начинают заменять производственные системы на основе IIoT, интегрируя в

себе системы ERP, MES, PLM и CRM, с целью обеспечения единого представления конфигурации продукта и поддержки процесса проектирования до производства [378, 379]. Мониторинг в режиме реального времени, который на настоящем этапе эффективно обеспечивают IIoT-платформы, способствует повышению точности аналитики, внедрению машинного обучения и более обширной стратегии интеграции устаревшего оборудования на уровень PLC.

Производители ищут интеллектуальное связанное оборудование, позволяющее использовать IIoT на всех производственных площадках. Для этого приходится пересматривать бизнес-модели и стратегии продуктов, перестраивать существующие производственные линии, делая их более ориентированными на программное обеспечение. Так, ожидается, что рост доходов от внедрения IIoT на предприятиях будет варьироваться в диапазоне от 20 до 35%, и будет зависеть от цифровых платформ, разработки программного обеспечения и приложений [380].

В 2018 году консалтинговой компанией Forrester были выделены 15 IIoT-платформ, в результате ранжирования которых по таким показателям, как «текущее предложение», «стратегия», «присутствие на рынке», были определены 5 лидеров [381].

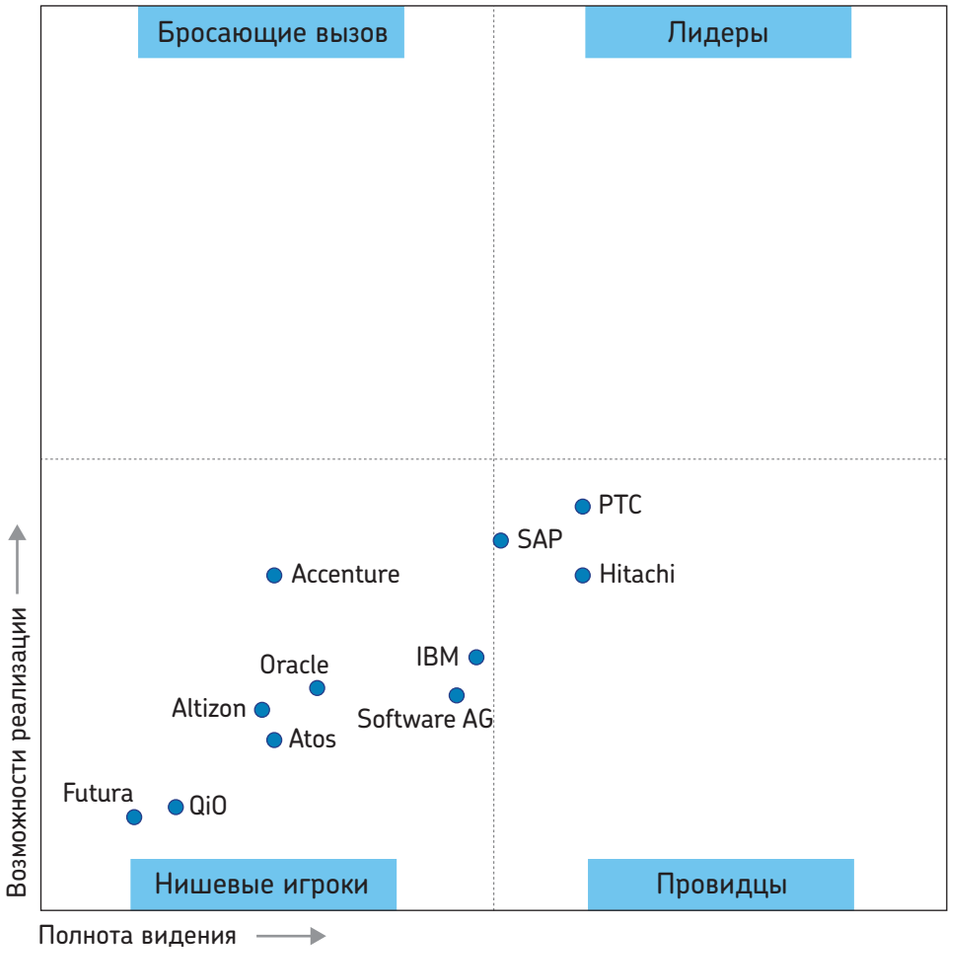
Рисунок 118. Рейтинг компаний в сфере IIoT-платформ The Forrester Wave (2018 год)



Источник: «The Forrester Wave: программные платформы промышленного Интернета вещей, третий квартал 2018 г.», Gartner, 2018 [381]

В «магический квадрант» Gartner в 2018 году вошли 11 компаний [382].

Рисунок 119. Рейтинг компаний в сфере IIoT-платформ Gartner (2018 год)



Источник: «Магический квадрант для промышленных платформ Интернета вещей», Gartner, 2018 [382]

По мнению респондентов, опрошенных Vanson Bourne в 2018 году, главным барьером на пути успешного внедрения IIoT являлось отсутствие необходимых навыков в сферах: безопасности (56%); аналитики/обработки данных (48%); технической поддержки (42%). В рамках вопроса безопасности 65% респондентов отметили, что уровень безопасности должен быть значительно более высоким, т.е. внешние кибератаки и неправильное использование данных сотрудниками являются распространенными проблемами [369]. В качестве главного барьера проблема безопасности была выделена и Transparency Market Research [365].

По мнению McKinsey, проблема хранения и обработки большого объема данных уходит на второй план, в то время как серьезным препятствием реализации IIoT в полной мере становятся миллионы устаревших промышленных производственных систем, мешающих созданию согласованной платформы IIoT в процессе производства, замедляющих потоки данных и затрудняющих достижения полной прозрачности операций [380].

Среди текущих продуктовых трендов IIoT необходимо выделить:

– предсказательное обслуживание оборудования – устройства, способные обнаруживать аномалии в работе промышленного оборудования и компонентах инфраструктуры и строить вероятностные прогнозы аварий и поломок;

– сервисы по созданию полноценных цифровых двойников в производстве на базе искусственного интеллекта – по прогнозам, к 2022 году ожидается, что до 85% поставщиков IoT-платформ будут предлагать данные возможности [383];

– продукты и инфраструктура для «туманных вычислений» (Fog computing) и «граничные вычисления» (Edge computing), которые могут быть востребованы для обеспечения совместимости и межмашинной «коммуникации» цехового оборудования или транспортных средств;

– продукты и решения по обеспечению кибербезопасности.

Важнейшим фактором развития рынка IIoT является внедрение сетей 5G, которые наравне со стандартами NB-IoT, LTE-M, LoRa и Sigfox расширят спектр применения подключенных устройств для различных индустрий.

На рынке продуктов для индустрии на основе машинного обучения в ближайшие 1-2 года будут доминировать решения для Интернета вещей и бизнес-аналитики предприятий с элементами искусственного интеллекта, включая:

– модули для BI-платформ, позволяющие создавать аналитический контент, в том числе инструменты для графовой аналитики (анализ связей);

– программные модули для IoT-платформ на основе искусственного интеллекта для обнаружения и маршрутизации подключенных устройств; анализа видео- и аудиосигнала и прочих данных, поступающих с IoT-устройств; программно-аппаратные модули по распознаванию речи, размещенные на «краю сети»;

– облачные платформы MLaaS («машинное обучение как сервис»). Amazon, IBM, Microsoft и Google уже предлагают для бизнеса подобные решения без необходимости локальных хранилищ данных;

– сервисы машинного обучения на основе обработки естественного языка (Natural Language Processing), предиктивной аналитики и визуализации данных;

– платформы «искусственный интеллект как сервис».

В потребительском сегменте и обслуживающих сферах для бизнеса ожидается рост спроса на голосовые помощники. Google и Amazon уже внедрили подобные решения для обслуживания клиентов в режиме 24/7, в частности для оказания консультаций с учетом анализа данных о наиболее часто задаваемых вопросах.

С учетом развития сервисов на базе искусственного интеллекта будет возрастать потребность в специализированных высокопроизводительных процессорах. Так, компании IBM и Intel расширили линейку своих процессоров под задачи ИИ.

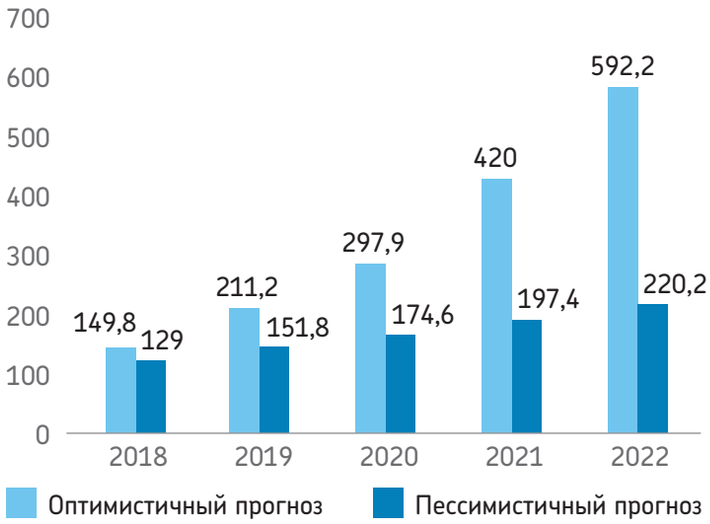
Рынок промышленного Интернета вещей в России

По состоянию на 2018 год IDC (International Data Corporation) Russia оценивала объем российского рынка IIoT в $ 3,67 млрд. Согласно прогнозу на период с 2018 по 2022 год, совокупные темпы роста составят 18%, таким образом к 2022 году расходы конечных потребителей на IIoT достигнут $ 7,61 млрд руб. в год [384].

Аналитическая компания «ГидМаркет» составила два варианта прогноза развития рынка IIoT в России в 2018–2022 годах. В оптимистичном прогнозе темпы роста составят 40% и во многом будут связаны с активной поддержкой IoT на государственном уровне. В пессимистичном

прогнозе темпы развития будут варьироваться по годам от 12% до 21%. К 2022 году объемы рынка, по прогнозам, составят 592,2 и 220,2 млрд руб. соответственно [385].

Рисунок 120. Прогноз объема рынка IIoT в России в 2018–2022 годах (млрд руб.)



Источник: Рынок интернета вещей (IoT) может превысить 590 млрд руб. в 2022 г., ГидМаркет, 2018 [385]

В ходе экспертного опроса IT-компаний в 2018 году TAdviser и ГК «Ростех» были выявлены перспективные направления использования IIoT в России, тренды, барьеры и факторы роста.

Согласно результатам исследования, в превалирующем числе случаев технологии IIoT в российской промышленности применяются для решения задач безопасности и контроля за состоянием оборудования.

Рисунок 121. Задачи, для которых используются решения IIoT в промышленности (2018 год, %)

Источник: Промышленный интернет вещей в России. Исследование TAdviser и ГК «Ростех», 2018 [349]

В число перспективных направлений IIoT России, выделенных респондентами, вошли:

- Внедрение технологий IIoT в бюджетные и муниципальные сферы;
- Развитиее «умных» городов;
- Применение RFID-технологии в промышленной автоматизации, в области контроля за перемещением авиабагажа, индустрии моды;
- Активное применение IIoT в сфере промышленного мониторинга оборудования и технологических процессов.

Среди трендов IIoT России был выделен рост внедрения систем мониторинга эффективности использования основных активов, систем предиктивной аналитики, ситуационно-диспетчерских центров. Генеральный директор компании «ПСС» И. Князев выделил среди трендов концентрацию IIoT-проектов в поле ведения государственных корпораций, снижение стоимости IoT-решений при более активном распространении свободного программного обеспечения. К трендам российского IIoT были также отнесены: развитие коммуникаций и технологий Edge computing, увеличение количества и многообразия подключенных устройств [366].

В качестве основного преимущества внедрения IIoT на предприятиях респондентами был выбран показатель «повышения эффективности» [349].

Рисунок 122. Оценка преимуществ от использования IIoT (2018 год, %)

Источник: Промышленный интернет вещей в России. Исследование TAdviser и ГК «Ростех», 2018 [349]

В число факторов, способствующих развитию IIoT-технологий в России, были отнесены: государственная поддержка и инициативы; значительное развитие коммуникационной инфраструктуры; увеличение экспертного потенциала; расширение производства [366].

Среди факторов, препятствующих внедрению IIoT в российскую промышленность, наиболее значимым барьером была признана высокая стоимость технологий. Последнее место занял нормативно-правовой барьер [366].

Рисунок 123. Факторы, сдерживающие проникновение IIoT в российской промышленности (2018 год, %)

Источник: Промышленный интернет вещей в России. Исследование TAdviser и ГК «Ростех», 2018 [349]

Текущий российский рынок поставщиков решений для IIoT нельзя назвать обширным, предложение готовых решений для «умного» производства ограничено. Однако можно говорить о сложившейся экосистеме участников рынка из числа российских производителей.

Таблица 30. Экосистема российских производителей решений для IIoT (по состоянию на 2018 год)

Направление	Компания	Задачи
Системная интеграция, ИТ-сервисы, платформы	«Техносерв», «КРОК инкорпорейтед», Сибинтек, «Ай-Теко», «Петер-Сервис», Revolta Engineering, 1С, «Ростелеком», Mail.ru, CTI, «Цифра», «Станкосервис», «Остек-Инжиниринг», «Инфотех Груп», «Комнэт», «Коннективити», «Стриж»	• Разработка новых решений; • разработка платформ (в том числе облачных) для хранения данных; • разработка ПО для систем управления; • внедрение и интеграция с существующей инфраструктурой.
Транспортные системы/ телеметрия, геолокация	«ТранспортТВ», StarLine, «Яндекс», «Телематика», Omnicomm, «АвтоГРАФ», Межотраслевой центр мониторинга, НИС ГЛОНАСС, «Совзонд», GeliosSoft, «Смартико», «Вавиот», «Аура360», T-One Group, «ГалилеоСкай», «Форт», Naviset, «Инкотекс», «Штрих-ТахоRUS», «Гранит Навигатор», M2M Cyber	• Производство беспилотного транспорта; • организация систем безопасности; • развертывание «умной» транспортной инфраструктуры; • системы геолокации и мониторинга.
Электроника	«Микрон», «Ангстрем», Т8, «Т-Платформы», «Пауэр Синтез», «Позитрон»	• Построение платформенных аппаратных решений, сетей и инфраструктуры для IoT; • поставка микроэлектронных компонентов и датчиков, компьютеров, сетевого и телекоммуникационного оборудования.
Связь	МТС, «Мегафон», «Вымпелком», Теле2, МТТ, «ЭР-Телеком», «Центр 2М», «Лартех Телеком»	• Развитие услуг M2M

Источник: Промышленный интернет вещей в России. Исследование TAdviser и ГК «Ростех», 2018 [349]

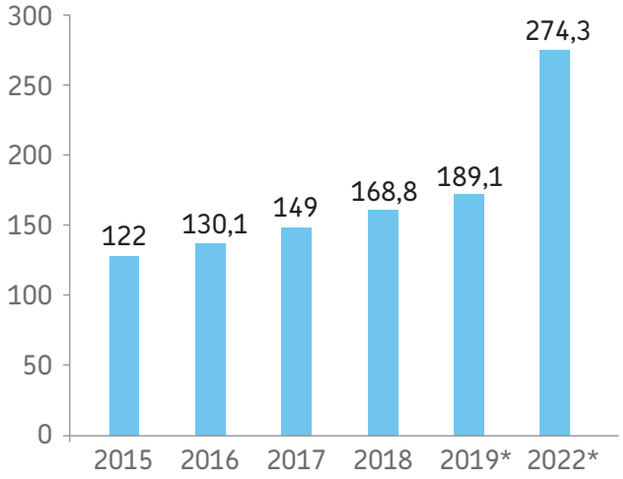
4.7. Рынок больших данных

Большие данные (Big Data) представляют собой массивы информации, характеризующиеся колоссальными объемами, стремительно увеличивающейся скоростью накопления и разнообразием формата представления (как в виде структурированной, так и не структурированной информации) и требующие инновационных методов их обработки с целью извлечения скрытых закономерностей, автоматизации, бизнес-процессов, а также обеспечения принятия наиболее эффективных решений [386].

В 2018 году объем глобального рынка Big Data и бизнес-аналитики (Global Big Data and Business Analytics Market) достиг $ 168,8 млрд. В соответствии с оценкой IDC, ожидается, что по итогам 2019 года объем глобального рынка больших данных увеличится на 12% по сравнению с показателями предшествующего года и достигнет $ 189,1 млрд. Кроме того, в период 2018–2022 годов предполагается рост рынка со среднегодовым темпом (CAGR) на уровне 13,2%. Таким образом, объем рынка может вырасти до $ 274,3 млрд к 2022 году [387].

ResearchAndMarkets прогнозирует возможные темпы роста глобального рынка Big Data на уровне 19,7% ежегодно в период с 2019 по 2025 год [388].

Рисунок 124. Динамика роста рынка больших данных (2015–2022 годы, $ млрд)



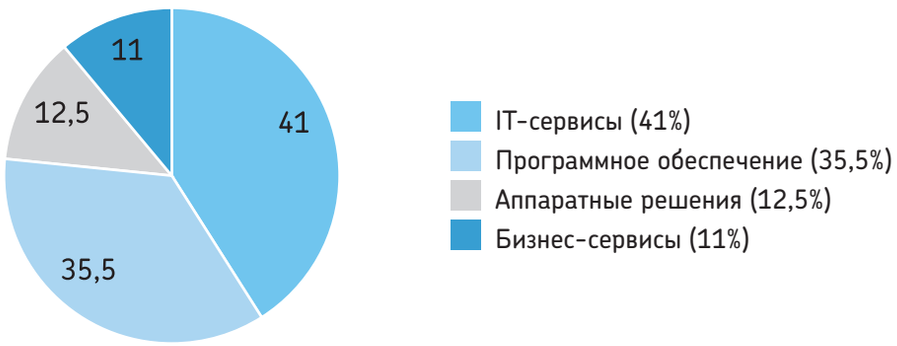
Источник: «Мировые доходы на рынке больших данных и бизнес-аналитики с 2015 по 2022 год», Statista, 2020 [389]

В 2018 году выручка на рынке программного обеспечения больших данных составила $ 60,7 млрд.

В 2019 году аналитики IDC прогнозировали, что более половины годовой выручки на рынке Big Data обеспечат доходы от IT-сервисов и бизнес-сервисов – $ 77,5 млрд и $ 20,7 млрд соответственно. По прогнозу IDC, составленному в 2019 году, размер выручки в сегменте аппаратного обеспечения должен был составить около $ 23,7 млрд, доход от программного обеспечения больших данных – $ 67,2 млрд. По данным IDC, ожидаемые темпы роста (CAGR) в период 2018–2023 годов в этом сегменте составят 12,5% [387].

Согласно исследованию Fortune Business Insights, объем глобального рынка технологий Big Data, оцененный в 2019 году в $ 41,33 млрд, увеличится к 2027 году до $ 116,07 млрд, демонстрируя темпы роста (CAGR) на уровне 14% в период с 2019 по 2027 год [390].

Рисунок 125. Структура глобального рынка технологий Big Data по сегментам (2018 год, %)



Источник: «Рынок технологий больших данных: размер, доли, спрос и рост – 2026 г.», Fortune Business Insights, 2020 [390]

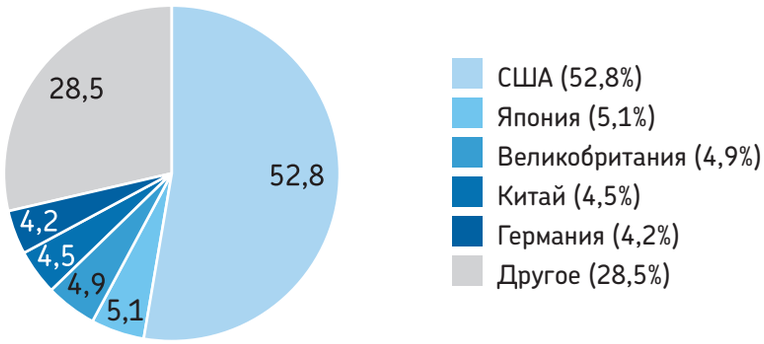
По данным Grand View Research, к 2025 году глобальный рынок Big Data как услуги (global big data as a service, BDaaS) достигнет $ 51,9 млрд, при этом CAGR составит 38,7% в период 2019–2025 годов [391].

С точки зрения географического распределения компания IDC в 2019 году прогнозировала, что на по результатам на конец года наиболее крупным станет рынок США с объемом выручки $ 100 млрд. Второе и третье место по объему займут Япония ($ 9,6 млрд) и Великобрита-

ния ($ 9,2 млрд). Также в пятерку крупнейших рынков войдут КНР ($ 8,6 млрд) и Германия ($ 7,9 млрд) [392].

В Аргентине и Вьетнаме в 2019 году ожидались наиболее высокие показатели прироста за пятилетний период (CAGRs 23,1% и 19,4%). На третье место по уровню CAGR в своем прогнозе 2019 года IDC поставила Китай (CAGR 19,2%). Также аналитики IDC отмечали, что данная тенденция может обеспечить выход страны на второе место по уровню доходов к 2022 году [387].

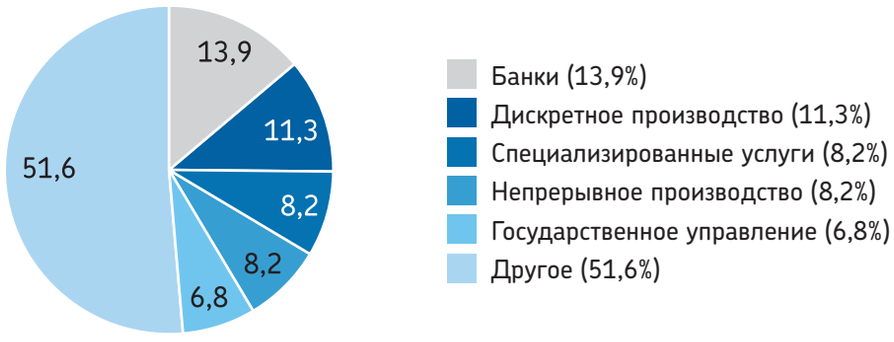
Рисунок 126. Доля стран-лидеров в общем объеме рынка больших данных (2018 год, %)



Источник: Определение больших данных – Глоссарий по информационным технологиям Gartner, IDC, 2020 [387]

Драйверами рынка больших данных и бизнес-аналитики выступают 5 отраслей, на которые, по оценке IDC, приходится около половины инвестиций ($ 91,4 млрд): банковская сфера, дискретное производство, специализированные услуги, непрерывное производство, госуправление. При этом наибольший рост рынка в будущем обеспечат такие направления, как розничная торговля (15,2% CAGR), а также операции с ценными бумагами и инвестиционные услуги (15,3% CAGR) [387].

Рисунок 127. Инвестиции в технологии больших данных по отраслям (%)



Источник: Определение больших данных – Глоссарий по информационным технологиям Gartner, IDC, 2020 [387]

Согласно отчету Wikibon «2018 Big Data and Analytics Market Share Report», в 2018 году (по данным 2017 года) в пятерку крупнейших поставщиков решений на рынке Big Data вошли такие компании, как IBM, Splunk, Dell, Oracle и AWS. По данным исследования «Global Big Data Market Forecast 2019–2027», проведенного Inkwoodresearch, в 2019 году эти компании сохранили свои позиции в качестве лидеров рынка [393].

Gartner отмечает 10 технологических трендов в области данных и аналитики, которые потенциально окажут значительное влияние на развитие рынка в течение последующих 3–5 лет:

- «Расширенная» (дополненная) аналитика (Augmented analytics) – совершенствование процесса анализа за счет автоматизации процесса поиска, обработки данных с исполь-

зованием технологий машинного обучения (Machine Learning, ML) и искусственного интеллекта (Artificial Intelligence, AI). Отмечается, что к 2020 году расширенная аналитика станет драйвером в области закупок инструментов бизнес-аналитики, а также платформ обработки данных [394]. По данным ResearchAndMarkets, ожидается, что рынок расширенной аналитики вырастет с $ 4,8 млрд в 2018 году до $ 18,4 млрд к 2023 году при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 30,6% [395].

- «Расширенное» (дополненное) управление данными (Augmented data management) – применение технологий AI и ML, позволяющих осуществить автоматизацию и запустить самонастройку процесса управления корпоративными данными (включая управление метаданными, качеством данных, интеграцию данных и баз данных). К 2022 году предполагается снижение объема «ручного» управления данными компаний на 45% [395].

- Технологии обработки естественного языка (Natural language processing, NLP, and conversational analytics) – ожидается, что к 2021 году внедрение средств NLP повысит уровень внедрения технологий интеллектуального анализа данных среди персонала с 35% до 50% [394].

- Аналитика графов (Graph analytics) – по оценке Gartner, применение методов обработки графической информации и использование графических баз данных будет увеличиваться на 100% ежегодно в течение последующих 5 лет [394].

- Коммерческие инструменты искусственного интеллекта и машинного обучения (Commercial AI and Machine Learning) – переход от использования платформ с открытым исходным кодом к применению специально разработанных «коннекторов», подключающихся к open-source экосистеме. Данная трансформация позволит реализовать функции управления моделями, проектами, а также предоставит возможность для преобразования и многократного использования данных, обеспечит интеграцию и прозрачность, недоступные в рамках open-source платформ. К 2022 году 75% решений для конечных пользователей будут создаваться с использованием коммерческих, а не открытых платформ [394].

- Матрица данных (Data Fabric) – подходы к интеграции данных в виде логически организованной структуры для облегченного доступа и обмена в распределенной среде данных [394].

- Объясняемый искусственный интеллект (Explainable AI) – возможность формирования описательной модели на естественном языке, позволяющей обосновать автоматически сгенерированные решения и результаты, полученные на базе технологий AI. К 2023 году более 75% крупных организаций будут нанимать специалистов по исследованию поведения AI, обеспечению конфиденциальности и доверительных отношений с клиентом для снижения репутационных рисков [394].

- Блокчейн в области данных и аналитики – обеспечивает взаимосвязь транзакций, активов, а также прозрачность и гарантии в сложных сетях взаимодействия участников.

- Непрерывная интеллектуальная обработка данных (Continuous Intelligence) – подход, при котором результаты аналитики в реальном времени интегрируются в бизнес-операции, а также происходит обработка потоковой контекстной информации, поступающей с датчиков IoT, и исторических данных, позволяющая моментально реагировать на изменения и предписывать поведение моделей. К 2022 году прогнозируется наличие функции непрерывного интеллектуального анализа в более чем 50% бизнес-систем [394].

- Серверы «постоянной» памяти (Persistent Memory Servers) – технология сохранения данных при отключении питания, которая позволяет 1) решить проблему ограниченно-

сти объемов памяти при возрастающем количестве данных; 2) анализировать больше данных в оперативной памяти и в режиме реального времени; 3) повысить энергоэффективность, операции с данными становятся более рациональными за счет уменьшения дублирования [394].

Рынок больших данных в России

По результатам опроса, проведенного International Data Corporation и Hitachi Vantara в ходе исследования «Аналитика больших данных как инструмент бизнес-инноваций», более 55% российских организаций выделяют бюджет на внедрение технологий больших данных (участие в исследовании приняли более 100 компаний со штатом более 500 человек) [396].

По состоянию на 2019 год аналитики Boston Consulting Group оценивали объем российского рынка больших данных в 45 млрд руб. с темпом прироста 12% в течение последних пяти лет [397].

Согласно данным, приведенным Ассоциацией участников рынка больших данных, объем рынка Big Data в России составляет 10–30 млрд руб. При этом в соответствии с усредненными прогнозами отечественных и иностранных экспертов, предполагается рост этого показателя в 10 раз, до отметки 300 млрд руб. к 2024 году [398].

В Ассоциацию больших данных, образованную в 2018 году, входят организации, представляющие собой наиболее крупных участников российского рынка Big Data: ПАО «Сбербанк», АО «Газпромбанк», АО «Тинькофф Банк», АО «КИВИ Банк» (QIWI), ООО «Яндекс», ООО «Мэйл.ру», ПАО «Мегафон», ООО «Единыйфактор» (торговая марка oneFactor), ПАО «Ростелеком». В июле 2019 года было объявлено о присоединении к Ассоциации Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации [399].

В 2019 году участниками Ассоциации совместно с привлеченными внешними специалистами (в том числе Boston Consulting Group) была разработана стратегия развития российского рынка больших данных до 2024 года, включающая 5 возможных сценариев (пессимистичный, сценарий «бездействия», базовый, оптимистичный, «сценарий мечты») [400]. В соответствии с разными вариантами прогноза рынок больших данных может обеспечить от 0,3% до 2,4% прироста ВВП, а объемы отрасли могут увеличиться на сумму от 20 млрд до 230 млрд руб. по сравнению с показателями 2019 года [401].

Рисунок 128. Сценарии развития рынка больших данных в России

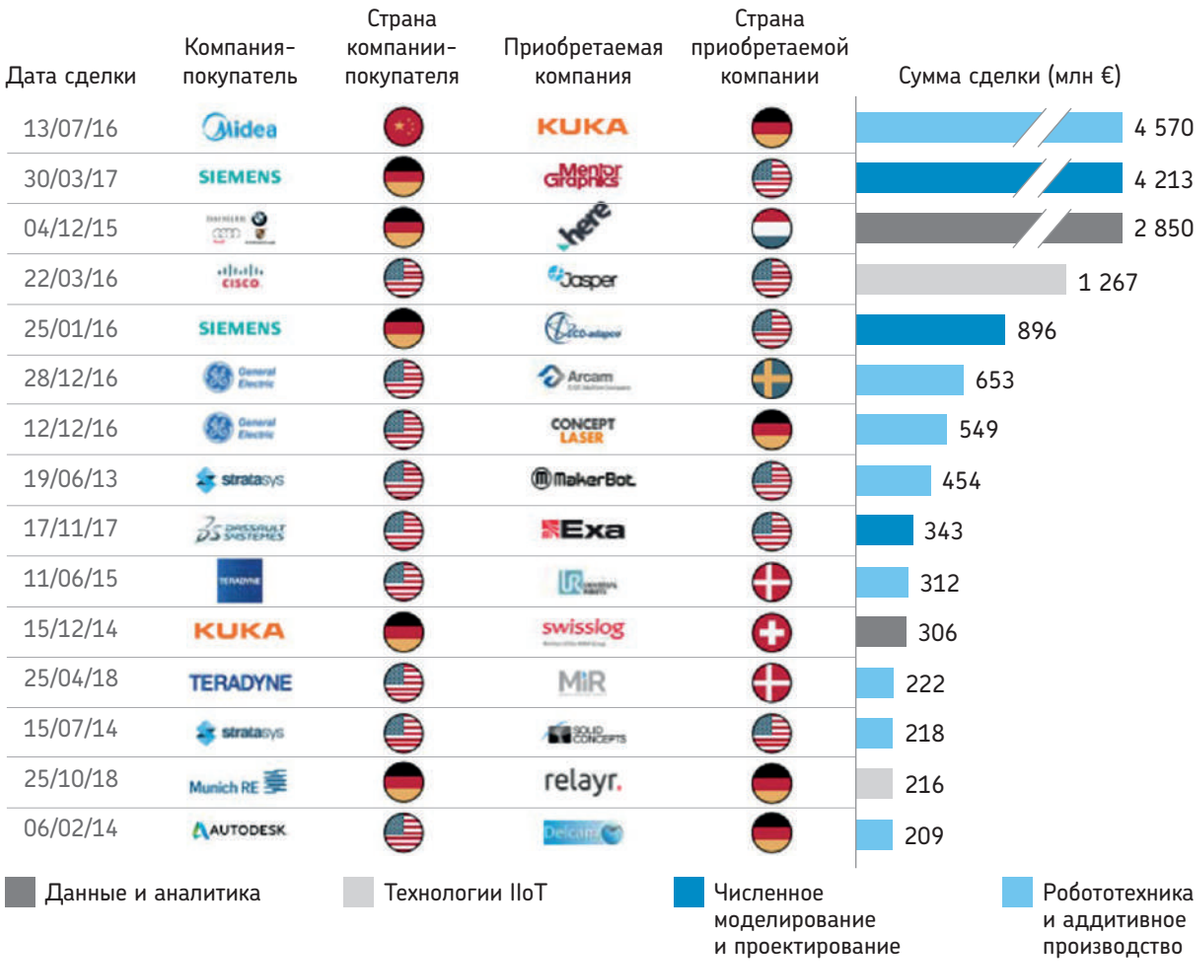
	ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ	ИССЛЕДОВАНИЕ И ИДЕИ	МАСШТАБИРОВАНИЕ	ВКЛАД БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ВВП, 2024 ПРОТИВ 2019	ОТРАСЛЬ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В 2024 ПРОТИВ 2019, МЛРД
ПЕССИМИСТИЧНЫЙ СЦЕНАРИЙ	АКТИВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ	ОТСУТСТВУЕТ АДРЕСНАЯ ПОДДЕРЖКА	ОТСУТСТВУЕТ АДРЕСНАЯ ПОДДЕРЖКА	+0,3%	+₽20
СЦЕНАРИЙ БЕЗДЕЙСТВИЯ	УСТАНОВЛЕННЫЕ РЕГУЛЯТОРОМ ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ПРЕЦЕДЕНТЫ	ОТСУТСТВУЕТ АДРЕСНАЯ ПОДДЕРЖКА	ОТСУТСТВУЕТ АДРЕСНАЯ ПОДДЕРЖКА	+0,5%	+₽40
БАЗОВЫЙ СЦЕНАРИЙ	1 УПРОЩЕННЫЙ ДОСТУП И ОБРАБОТКА	3 R&D-ПЕСОЧНИЦЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БОЛЬШИХ ДАННЫХ	5 СТРАТЕГИЯ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ТРАДИЦИОННЫХ ИНДУСТРИЙ	+1,2%	+₽100
ОПТИМИСТИЧНЫЙ СЦЕНАРИЙ	2 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБМЕНА/ОБОГАЩЕНИЯ ДАННЫХ	4 ФИНАНСИРОВАНИЕ ИННОВАЦИЙ И РЕСУРСНАЯ ЭКОСИСТЕМА	6 ВНУТРЕННИЕ СТИМУЛЫ ДЛЯ ИННОВАЦИОННЫХ ОТРАСЛЕЙ	+1,8%	+₽160
СЦЕНАРИЙ МЕЧТЫ	ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ КРУПНОМАСШТАБНОГО ОБМЕНА ДАННЫМИ	СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ПРОГРАММЫ	ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА ЭКСПОРТА	+2,4%	+₽230

Источник: «Российские сценарии для Big Data», Rspectr.com, 2019 [400]

Меры, направленные на реализацию стратегии, объединены в три основных блока: 1) повышение доступности данных; 2) проведение исследований в области больших данных (R&D); 3) масштабирование рынка. Стратегия предусматривает создание R&D-«песочницы» для проведения экспериментов, разработку мер по изменению законодательства, основание центра компетенций и др. [397].

4.8. Анализ слияний и поглощений компаний на рынках направления «Технет» НТИ

Рисунок 129. Крупнейшие и знаковые сделки по слиянию и поглощению за последние 6 лет в области «умного» производства



Источник: «Умное производство: Восстание машин», GP Bullhound, 2019 [402]

В последние 5 лет на глобальном рынке передовых производственных технологий были заключены несколько значимых и крупных сделок по слиянию и поглощению, объем которых превысил 1 млрд евро [402]:

- китайская Midea приобрела одного из ведущих производителей промышленной робототехники Kuka за 4,57 млрд евро;
- компания Siemens за 4,21 млрд евро приобрела Mentor Graphics, расширив компетенции и продуктовую линейку в области цифрового проектирования;

– консорциум из ведущих мировых автопроизводителей Daimler, BMW и Audi инвестировали 2,85 млрд евро в покупку разработчика навигационных карт HERE с учетом стратегических интересов в области развития автономных автомобилей;

– компания Cisco приобрела облачную платформу Интернета вещей Jasper за 1,26 млрд евро.

В целом по количеству сделок в сфере передовых производственных технологий крупнейшие глобальные компании больше всего инвестируют в решения Интернета вещей, аддитивного производства и робототехники.

Рисунок 130. Ведущие компании в сфере «умного» производства по количеству слияний и поглощений

Источник: «Умное производство: Восстание машин», GP Bullhound, 2019 [402]

Из знаковых сделок M&A за 2019 год в области **аддитивных технологий** можно выделить покупку компанией Xerox стартапа Vader Systems (технологии печати жидким металлом и пластиком) и фактически выходом компании на рынок 3D-печати, приобретение одним из лидеров рынка ANSYS компании Granta Design, предоставляющей программные решения в области цифрового проектирования, инжиниринга и управления данными в области материаловедения.

Таблица 31. Сделки M&A в области аддитивного производства в 2019 году

№	Компания-покупатель	Приобретаемая компания – объем сделки	Полученные компетенции
1.	Siemens	Material Solutions (Siemens нарастил пакет акций до 85%)	Технологии лазерного спекания, применяемые для производства частей турбин, изготовления деталей для аэрокосмической и автомобильной отраслей. Решения для полного производственного цикла: от цифрового моделирования до изготовления
2.	GKN Powder Metallurgy	Forecast 3D	Расширение присутствия на глобальном рынке сервисов промышленной 3D-печати на базе решений HP

№	Компания-покупатель	Приобретаемая компания – объем сделки	Полученные компетенции
3.	ANSYS	Granta Design	Решения в области цифрового проектирования и моделирования материалов
4.	Xerox	Vader Systems $ 8 млрд	Технологии высокоскоростной печати жидким металлом и пластиком
5.	Formlabs	Spectra Group Photopolymers	Поставщик материалов и химического сырья

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам открытых источников

В **промышленной робототехнике** в 2019 году наблюдалось заметное количество сделок по приобретению компаний, предоставляющих как сервисы по автоматизации и интеграции решений, так и поставщиков робототехнических решений. Из сфер, не связанных с производством, крупнейшими по объему были сделки в области хирургии, компьютерного зрения, автономных роботов различного назначения.

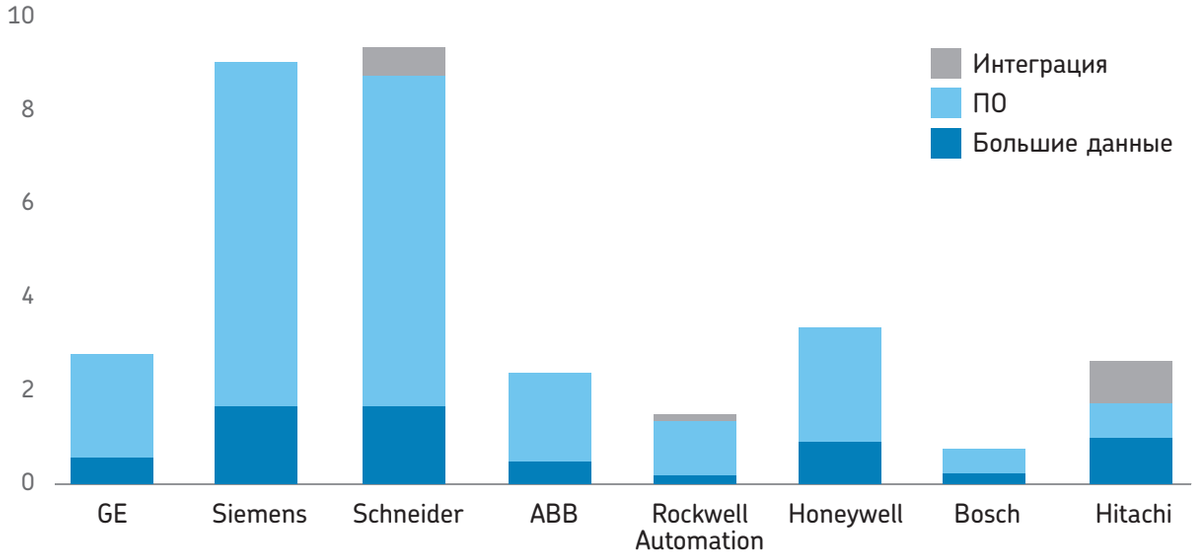
Таблица 32. Сделки M&A в области промышленной робототехники в 2019 году

№	Компания-покупатель	Приобретаемая компания – объем сделки	Полученные компетенции
1.	Hitachi Ltd.	JR Automation Technologies LLC $ 1,4 млрд	Расширение рынка в области системной интеграции промышленных роботов
2.	OnRobot	Blue Workforce	Расширение продуктовой линейки коллаборативных роботов до 50 решений. Технологическая модульная платформа коллаборативных роботов, ПО для 3D-моделирования робототехнических систем
3.	Airbus SE	MTM Robotics	Решения по промышленной автоматизации, системы мониторинга сборочной линии в реальном времени в аэрокосмической отрасли
4.	Alibaba Group Holding	Cainiao Smart Logistics $ 3,3 млрд	Автономные роботы для логистических складов

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам открытых источников

На рынке M&A в секторе **промышленного Интернета вещей** крупные индустриальные холдинги вкладываются в покупку производителей аппаратной части (подключенных устройств), которые легко интегрируются в производственные системы или которые становятся частью продуктовой линейки корпораций, и ПО, доля которого в общем объеме сделок превалирует. Программные платформы и решения интегрируются сложнее, и оцениваются компанией-покупателем скорее исходя из представлений о синергетическом эффекте от внедрения.

Рисунок 131. Структура и объем сделок по слиянию и поглощению, проведенных глобальными лидерами в области передовых производственных технологи (2010 год – июнь 2018 года, $ млрд)



Источник: «Больше чем просто экспериментальное подтверждение: масштабирование промышленного Интернета вещей», Bain&Company. 2019 [362]

В настоящий момент количество IoT-платформ с возможностью индустриального применения уже превышает несколько сотен, в ближайшие годы рынок ожидает консолидация, в том числе с учетом того, что многие поставщики предлагают универсальные платформы, и потребителям все сложнее определиться с выбором [403]. Глобальные лидеры покупают платформенные решения для расширения возможностей своих собственных платформ: за последние 6 лет можно отметить покупку GE Digital компаний Nurego, Meridium, BitStew Systems, Wise.io, приобретение Cisco компании Jasper, поглощение Software AG компании Cumulocity.

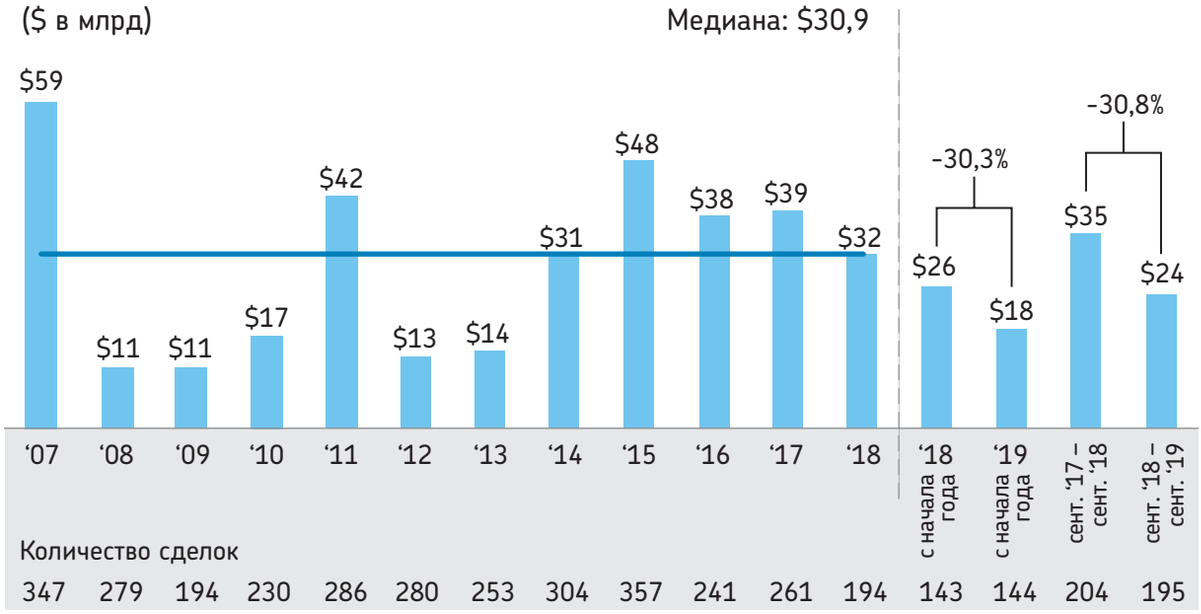
В 2019 году Cisco приобрела компанию Sentrio, поставщика IoT-платформы и решений в области кибербезопасности для IIoT-систем. Сделка позволит компании расширить предложение IoT-сервисов для индустриальных партнеров в транспортной и нефтегазовой отраслях, энергетике.

При этом в целом M&A-активность в сфере IoT постепенно замедляется как по количеству, так и по объему сделок – по итогам 2018 года было заключено сделок на $ 89 млрд, что на $ 23 млрд ниже рекордного показателя 2016 года. Это может быть связано с тем, что показатели выручки на рынке IoT оказались существенно ниже прогнозных значений и ожидаются более низкие темпы роста рынка в целом [404].

В области передовых материалов за последние 5 лет наблюдается волатильность рынка слияний и поглощений, что связано с макроэкономическими факторами – снижением производственной активности и увеличением неопределенности на рынке. Больше стратегических сделок совершалось в наименее подверженных конъюнктурным циклам отраслях – медицине, ОПК, аэрокосмической отрасли [405].

Сделки в цикличных отраслях наблюдаются в меньшем количестве. Стоит отметить крупное поглощение в октябре 2019 года глобальным концерном Merck KGaA одного из мировых лидирующих поставщиков передовых материалов для микроэлектроники – компании Versum Materials (сделка оценивается в $ 5,8 млрд). Приобретение позволит Merck усилить свои позиции на рынке полупроводников и дисплеев. Данная сделка иллюстрирует стратегическое стремление компании к трансформации в технологического и инновационного лидера [406].

Рисунок 132. Динамика рынка слияний и поглощений в области передовых материалов ($ млрд)



Источник: Анализ рынка Capital IQ и William Blair [405]

Таблица 33. Сделки M&A в области передовых материалов в 2019 году

№	Компания-покупатель	Приобретаемая компания – объем сделки	Полученные компетенции
1.	Parker (США)	Lord (США) $ 3,6 млрд	Технологии по производству виброустойчивых клеящих материалов и сплавов с повышенными свойствами для аэрокосмической отрасли и автомобильной промышленности
2.	Teijin (Япония)	Renegade Materials (США)	Производство термостойкого карбонового волокна, пластика, пленок, арамидной ткани для аэрокосмической отрасли
3.	Hexcel (США)	ARC (США) $ 0,16 млрд	Производство структурных композитов и термопластиков, материалы вафельного переплетения (honeycombs), препрегов для ОПК, гражданского авиастроения
4.	Polyone (США)	Fiberline (США) $ 0,12 млрд	Разработка жидких и силиконовых полимерных красителей (колоранты), фторопластов для нефтегазовой отрасли и оптоволокна для широкого применения

Источник: Анализ рынка Capital IQ и William Blair [405]

Ситуацию, сложившуюся на российском рынке венчурных инвестиций в 2019 году, в целом можно охарактеризовать как позитивную: в отличие от 2013–2016 годов, ставших, пожалуй, одними из самых плохих в недолгой истории российского венчура, и 2017–2018 годов, ставших временем поступательного восстановительного роста[28], только в 1-м полугодии 2019 года общий объем венчурных сделок в России вырос на 161% и достиг $ 662 млн [407]. Тем не менее, рынок венчурных инвестиций ещё не достиг пиковых показателей 2012 года.

28 По данным РВК, в 2017 году объем сделок с венчурным капиталом впервые показал рост по сравнению с предыдущим периодом (объем сделок увеличился на 48% по сравнению с 2016 годом), после отрицательной динамики в течение предыдущих 3 лет, оставаясь при этом примерно в 4 раза меньше пикового значения 2012 года (60,5 млрд рублей); подробнее см. проект Стратегии развития рынка венчурных инвестиций Российской Федерации.

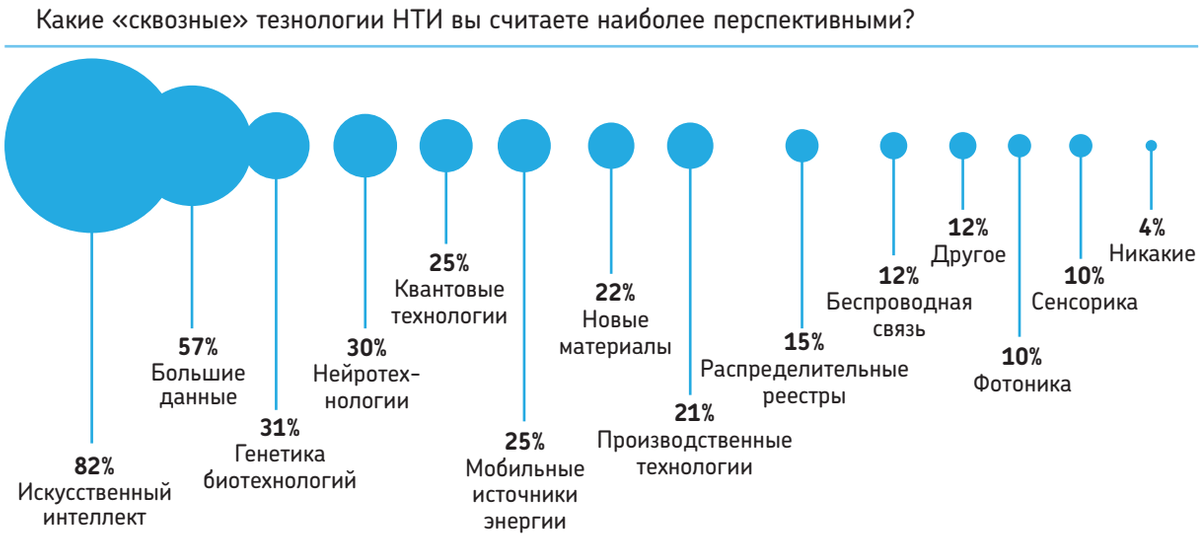
Рисунок 133. Наиболее привлекательные ниши для венчурных инвестиций в 2019 году

1	2	3	4	5	6	7	8
AI / ML	FinTech	SaaS	FoodTech	E-commerce	Маркет-плейсы	AR/VR	HealthTech
EdTech			IT	EnergoTech	Транспорт и логистика	MedTech	ПО B2B
					Новые материалы	BioTech	RetailTech
						Производств. технологии	AdTech
						E-sport	Блокчейн
							IoT
							Кибербезо-пасность

Источник: «Исследование российского рынка венчурных инвестиций 2019», Venture Barometer, 2019 [408]

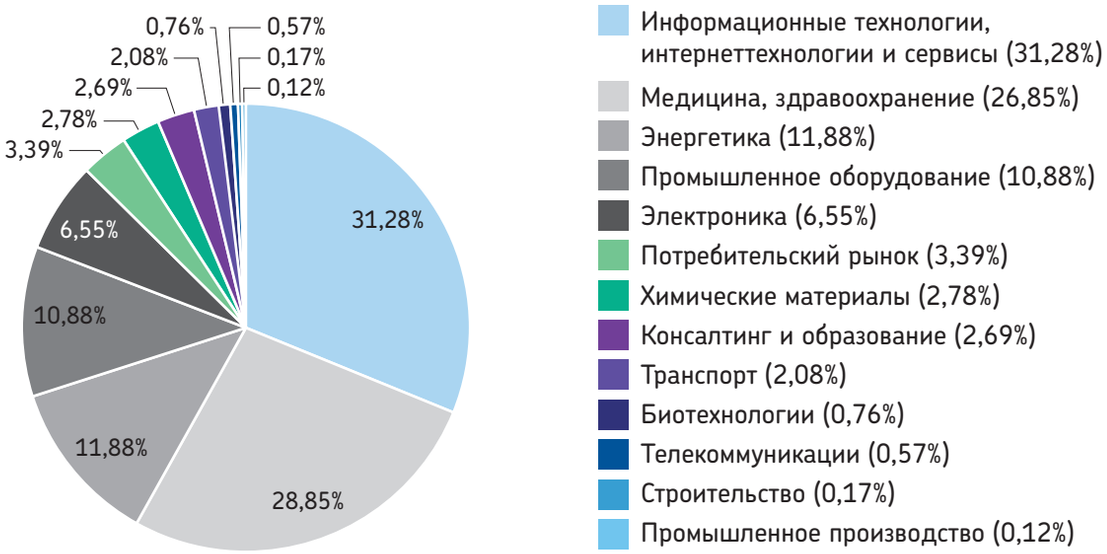
Наиболее востребованным направлением из всех передовых производственных технологий в 2019 году в России стали искусственный интеллект и машинное обучение, являющиеся самым популярным направлением для венчурных инвестиций в целом. При этом, в отличие от глобального рынка, в число первых приоритетов венчурных инвесторов не попали ни промышленная робототехника, ни новые материалы, ни промышленный Интернет вещей; передовые производственные технологии по-прежнему не рассматриваются как комплексная технологическая платформа, которая способна дать рынку сложные дорогостоящие и высокомаржинальные продукты.

Рисунок 134. Наиболее привлекательные для венчурных инвестиций «сквозные» технологии НТИ



Источник: «Исследование российского рынка венчурных инвестиций 2019», Venture Barometer, 2019 [408]

Рисунок 135. Распределение инвестиций фондов с участием капитала РВК по секторам экономики за 2007–2020 годы

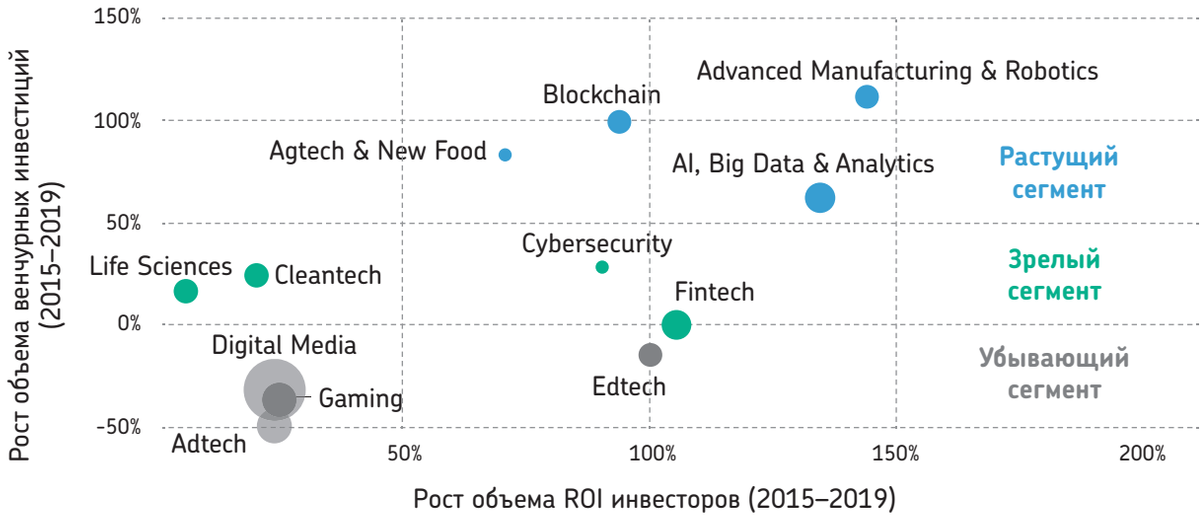


Источник: «РВК Инвестиционная деятельность», 2017 [409]

Лидером по количеству венчурных сделок и объему инвестиций в 2019 году остался сектор информационных технологий. По итогам первой половины 2019 года в этом секторе наблюдалась положительная динамика как по количеству сделок, так и по общему объему привлеченных средств; доля сектора производственных технологий (за вычетом вложений в искусственный интеллект и машинное обучение) в общем объеме сделок составила всего 2,7% [407]. Самая крупная сделка последних лет была совершена еще в 2018 году: южнокорейская Cosmo and Company Co. подписала соглашение о сотрудничестве на общую сумму $ 5 млн с российской компанией «ЭкзоАтлет», специализирующейся на разработке и производстве экзоскелетов и создании новых эффективных методик медицинской и социальной реабилитации пациентов. Что касается сделок с участием государственных фондов, то VEB Ventures инвестировал по $ 7,7 млн в «Группу 03», поставщика решений по антикоррозии, огнезащите и теплоизоляции индустриальных объектов, и в компанию «Гален», производителя композитных материалов для промышленно-гражданского строительства.

Принципиально иная ситуация складывается на глобальном рынке венчурных инвестиций: наибольшие темпы роста показывают передовые производственные технологии (включая аддитивные технологии, промышленный Интернет вещей и робототехнику), в то время как IT-технологии (искусственный интеллект, большие данные и пр.), традиционно лидирующие в России, находятся на втором месте.

Рисунок 136. Карта секторов глобального венчурного рынка



Источник: «Отчет по глобальной стартап-экосистеме», Startup Genome, 2019 [410]

Расхождение приоритетов российского рынка венчурных инвестиций с приоритетами рынка глобального связано с целым рядом факторов, важнейшим из которых является нехватка профильных институциональных игроков, осуществляющих систематические инвестиции в это направление [409]. Кроме того, в 2018–2019 годах потенциал роста объемов венчурных инвестиций в ППТ был существенно ограничен отсутствием «комплексных» венчурных инициатив, которые работали бы с передовыми производственными технологиями как с комплексной технологической платформой, а не в логике отдельных точечных продуктов (3D-принтеры, отдельные новые материалы и пр.).

Анализ динамки вовлечения стартап-компаний НТИ в реализацию направления «Технет»

Тем не менее, несмотря на очевидные сложности, 2019 год может стать поворотным в части развития венчурных инвестиций в ППТ, поскольку именно в 2019 году стартовали две специализированные программы (инициативы), направленные на поддержку и развитие стартапов и проектных команд по всем технологическим направлениям, связанным с ППТ:

1) Акселерационная программа TechNet Project, реализуемая Ассоциацией «Технет» в партнерстве с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого (СПбПУ) и Центром компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии». Целью акселератора в 2019 году была подготовка проектов участников к рыночной реализации, подаче заявок в Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, получению статуса резидентов Фонда «Сколково» и привлечение венчурных инвесторов.

2) Технологический конкурс TechNet Contest – серия совместных мероприятий Ассоциации «Технет», Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» и АО «Объединенная двигателестроительная корпорация»; основная цель TechNet Contest – поиск, оценка и отбор лучших технологических команд для решения реальных индустриальных задач с целью дальнейшего включения в технологические и производственные цепочки и участие в НИОКР на регулярной основе.

Таблица 34. Общие итоги акселерационной программы TechNet Project в 2019 году

	Второй набор (январь – апрель 2019)	**Третий набор (сентябрь – ноябрь 2019)**
Количество заявок	40	40+
Количество участников	15	15
Темы акселератора	Цифровое проектирование и моделирование, аддитивные технологии, цифровые материалы и методы обработки, индустриальный Интернет и большие данные для оптимизации производственных процессов, мехатроника и робототехника, гибкие производственные ячейки	Цифровое проектирование и моделирование, технологии робототехники (промышленные роботы), промышленная сенсорика, новые материалы, аддитивные технологии, CNC-технологии и гибридные технологии, Big Data, индустриальный Интернет
Проекты, прошедшие акселератор	«Разработка опытно-промышленной установки производства микрокристаллической целлюлозы» «БиоФарм полимер – разработка экспериментальной технологии получения функциональных биодеградируемых материалов с заданными свойствами» «Система мониторинга функционирования оборудования – BOR» «Интеллектуальная система радиовидения» «Нейросканер – система автоматизированной расшифровки дефектограмм» «Air&Soil Technologies (гексакоптер с компьютерным зрением на ИИ)» «Разработка оборудования (установки) для реализации метода автоматизированного струйного электролитно-плазменного полирования (СЭПП)»	«Производство фуллеренов и фуллереновых производных» «Семейный 3D-принтер» «Разработка композиционного полиамидного филамента для получения высокопрочных материалов методом FDM-печати» «Производство протезов» «ScanFace (психодиагностика и профайлинг личности на основе анализа биометрии лица)» «Bearskin» «Encora – технология создания биодеградируемых систем с заданными свойствами» «3D-принтер по печати PEEK» «BID Technologies (разработка комплексных кастомизированных решений для производственных задач по трем уровням технологий)»
	«Автономный роботизированный комплекс по окраске поверхностей в жилых и производственных зданиях и помещениях» «Yellot – Облачная система управления производственными процессами МСП» «Разработка трехструйного плазмотрона для получения порошка для 3D-принтера» «GES-Modelling – инновационное проектирование (моделирование) опасных производственных объектов» «Умные» композиты»	«Мобильный комплекс определения координат объектов с воздуха «ТОЧКА» «Умный» спортивный костюм Asymmetric Kinetics» «Аппаратно-программный комплекс определения предельно допустимых параметров электрооборудования (инструмент предиктивной аналитики)» «Nyam Cup (технология производства съедобной посуды)»

	Второй набор (январь – апрель 2019)	**Третий набор (сентябрь – ноябрь 2019)**
Общие итоги акселератора	1 проект получил грант от компании Siemens; 1 проект уже стал резидентом «Сколково» и еще 1 готовит заявку на резидентство; 4 проекта подали заявки на конкурс «СТАРТ» Фонда содействия инновациям, 1 проект уже признан победителем; 2 проекта попали в корпоративный акселератор группы компаний «Кировский Завод»; 1 проект перешел в корпоративный акселератор «Северсталь».	10 проектов подали заявки на конкурсы Фонда содействия инновациям; 3 проектами заинтересовались венчурные инвесторы; 1 проект увеличил продажи на 150%; 1 проект попал в корпоративный акселератор ПАО «ОДК-САТУРН».

Источник: по данным Ассоциации «Технет»

5. ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ БАРЬЕРЫ, СДЕРЖИВАЮЩИЕ РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЫНКОВ

В.А. Пастухов (АНО «АТР»); Н.В. Гоголь, М.А. Королькова (ФБУ «РТА»)

5.1. Резюме результатов исследования

С внедрением передовых технологий перед государствами и бизнесом открываются широкие возможности. Одновременно с этим их интеграция в разные сектора экономики и промышленности приносит как позитивные эффекты и выгоды, так и формирует новые вызовы – от необходимости менять подходы к подготовке кадров до решения проблем, связанных с этикой и «цифровой» безопасностью. В данный момент Российская Федерация сталкивается с вызовами, связанными с появлением новых технологий и преобразованием традиционных отраслей. В связи с этим, актуальность рассмотрения законодательных и социальных барьеров, обусловленных развитием и внедрением новых технологий, неуклонно растет с каждым годом.

Одним из сдерживающих факторов развития рынков инновационных технологий, включая передовые цифровые, производственные технологии, роботизированные системы, новые материалы, системы искусственного интеллекта, системы обработки больших объемов данных и новых способов конструирования являются законодательные и социальные барьеры, возникающие с развитием новых технологий.

В отдельных аспектах право не только не успевает за современными тенденциями регулирования новых технологий, но и препятствует их распространению.

Ключевые социально-законодательные барьеры, выделенные в рамках проведенного исследования, были сгруппированы следующим образом:

- связанные с недостаточным пониманием тенденций развития науки и технологий или социальным неприятием после внедрения;
- связанные с устаревшим законодательством или обусловленные техническим регулированием;
- связанные с ожидаемыми существенными изменениями образа жизни человека и глобальными сдвигами на рынке труда;
- экономические барьеры, в том числе риски, связанные с изменением конкурентных позиций на рынке и риски изменения рынка в целом;
- связанные с отсутствием необходимой производственной, компонентной базы, способов и механизмов ее создания.

Законодательные барьеры, с которыми сталкиваются хозяйствующие субъекты в процессе своей деятельности, можно условно отнести в одну из пяти групп:

- барьеры, затрудняющие вывод на рынки и обращение инновационных продуктов на рынках: отсутствие норм, необходимых для правового обеспечения вывода на рынок инновационных продуктов, либо избыточные нормы, запреты и ограничения, связанные с производством и реализацией таких продуктов, либо нормы, возлагающие дополнительные необоснованные расходы на производителей инновационной продукции;

- барьеры, затрудняющие выход на рынки участников производства инновационных продуктов: отсутствие норм, необходимых для правового обеспечения выхода на рынок субъектов инновационных видов предпринимательской деятельности;
- барьеры, затрудняющие осуществление текущей деятельности: чрезмерное административное воздействие: контроль, надзор, учет и отчетность;
- барьеры, затрудняющие легализацию статуса хозяйствующего субъекта: регистрация, лицензирование, аккредитация, подтверждение соответствия, уведомление о начале осуществления деятельности, подтверждение (исключения негативного воздействия или наличия площадей, оборудования, аттестованного персонала и т.д.);
- барьеры, затрудняющие легализацию осуществляемой деятельности: государственная регистрация производственных объектов; квотирование производства; подтверждение исключения негативного воздействия или наличия специального оборудования, площадей, аттестованных сотрудников, получение разрешения на использование радиочастотных полос, сброс загрязняющих веществ и т.д.

5.2. Методология исследования

Эксперты выделяют три подхода к рассмотрению действующего законодательства в части регулирования производства инновационной продукции:

- применение существующих законодательных норм (при этом основные понятия остаются неизменными);
- доработка законодательных норм под современные тенденции (например, дополнение федерального закона от 29 июля 2017 г. № 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья» в части использования возможностей телемедицины);
- введение принципиально новых норм права, связанное, например, с появлением новых субъектов права, новых объектов регулирования, а также нового способа реализации прав и исполнения обязательств.

Среди действующих инструментов, направленных на устранение барьеров на законодательном уровне, отметим ряд государственных инновационных программ. Действующие государственные программы, направленные на развитие рынков передовых цифровых, производственных технологий, роботизированных систем, новых материалов, искусственного интеллекта и других инновационных технологий, включают разработку комплекса мероприятий по устранению административных, в том числе законодательных, барьеров для использования передовых технологических решений и создания системы стимулов для их внедрения.

Постановление Правительства от 29 сентября 2017 г. № 1184 «О порядке разработки и реализации планов мероприятий («дорожных карт») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» определяет порядок мероприятий по подготовке и заключению международных договоров, подготовке и принятию нормативных правовых актов, документов по стандартизации, документов стратегического планирования и других документов, необходимых для реализации планов мероприятий Национальной технологической инициативы (далее – НТИ), направленных:

а. на устранение существующих административных барьеров (в том числе пробелов в необходимом правовом или техническом регулировании, правовой неопределенности) для вывода на рынок передовых технологий, товаров и услуг, обеспечивающих приоритетные позиции российских организаций на формируемых глобальных рынках;

б. на создание условий и стимулов для продвижения на формируемые глобальные рынки передовых технологий, товаров и услуг российских организаций, являющихся участниками проектов НТИ, в том числе путем внесения изменений в действующие документы по стандартизации и принятия новых документов по стандартизации;

в. на создание системы стимулов для внедрения и использования передовых технологических решений, полной или частичной замены устаревших технологий, в том числе путем введения поэтапных законодательных запретов, ограничивающих применение устаревших технологий, модернизации механизмов правовой охраны и управления результатами интеллектуальной деятельности, создаваемыми организациями, являющимися участниками проектов НТИ;

г. на решение других вопросов, связанных с реализацией дорожной карты и планов мероприятий НТИ.

Для достижения этих целей протоколом заседания Межведомственной рабочей группы по разработке и реализации Национальной технологической инициативы при президиуме Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 19 июня 2017 года № 3 были утверждены составы рабочих групп по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях реализации планов мероприятий («дорожных карт») НТИ.

Руководители рабочих групп и федеральные органы исполнительной власти, ответственные за совершенствование законодательства и устранение административных барьеров, были утверждены протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 25 мая 2017 года № 2.

Направления дорожных карт НТИ в части совершенствования законодательства спроектированы на период до 2035 года и предусматривают поэтапное совершенствование нормативно-правовой базы, увязываемое с ключевыми этапами реализации дорожной карты НТИ и реализацией соответствующих каждому этапу проектов. Перспективное планирование реализации дорожных карт НТИ, а также тот факт, что рынки НТИ находятся на разных стадиях развития, обусловливают разную степень детализации мероприятий по совершенствованию нормативно-правового регулирования в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе.

На сегодняшний день утверждены и реализуются «нормативные» дорожные карты по семи направлениям НТИ (Аэронет, Автонет, Маринет, Нейронет, Хелснет, Энерджинет, Технет).

Одним из тематических направлений национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р, является нормативное регулирование. Паспорт федерального проекта «Нормативное регулирование цифровой среды» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» утвержден Правительственной комиссией по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности 25 декабря 2018 г. № 1. Целью федерального проекта является создание системы правового регулирования цифровой экономики, основанной на гибком подходе в каждой сфере, а также внедрение гражданского оборота на базе цифровых технологий. По итогам реализации федерального проекта предполагается не только обеспечение полноценной идентификации граждан в онлайн среде, но и признание

электронной формы сделки и электронного документа; легализация современных инструментов финансирования проектов с применением таких цифровых технологий, как криптовалютные инвестиции, краудфандинг и другие; введение электронного судопроизводства; создание специальных правовых режимов («песочниц») для внедрения новых технологий; создание благоприятных нормативных условий для развития законодательства в области робототехники, киберфизических систем, технологий искусственного интеллекта.

Действующие госпрограммы, направленные на развитие цифровых технологий, имеют ряд точек пересечения в части задач по устранению законодательных, технологических, социальных барьеров. Синхронизация усилий по преодолению выявленных барьеров будет способствовать повышению эффективности государственной политики в сфере промышленности.

Объектами анализа стали:

- мероприятия дорожных карт НТИ, направленные на поэтапное совершенствование нормативной правовой базы в целях устранения барьеров для использования передовых технологических решений и создания системы стимулов для их внедрения;
- дорожные карты по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации отдельных направлений НТИ;
- мероприятия по нормативному регулированию цифровой среды национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»;
- предложения по совершенствованию нормативно-правовой базы, регулирующей научно-технологическое и инновационное развитие государства (более ста предложений от промышленных предприятий) и необходимых мероприятий в целях разработки и внедрения цифровых технологий;
- информационные системы в сфере инноваций, промышленности, данные официальной статистики Федеральной службы государственной статистики (Росстата);
- данные новостных и иных открытых российских и зарубежных ресурсов, российских и зарубежных стратегических и прогнозных документов, прогнозы крупных корпораций и консалтинговых агентств, материалы Центра управления проектами в промышленности.

5.3. Внешние тренды, влияющие на научно-технологический прогресс, способствующие появлению / снижению законодательных и социальных барьеров

Действия глобальных трендов, взаимодействующих между собой, способны создать как угрозы, так и окна возможностей для научно-технологического прогресса.

Одним из глобальных факторов является изменение природной среды. Ожидается сохранение высокого спроса на традиционные источники энергии, что, в свою очередь приведет к истощению природных ресурсов и увеличит количество CO2 в атмосфере.

Нарастание частоты опасных природных явлений, ситуаций техногенного характера, вечной мерзлоты, которая поспособствует увеличению себестоимости нефти и газа, сделает экстенсивный путь экономического развития нерентабельным.

Современные демографические тенденции показывают, что стоит ожидать серьезного увеличения численности населения планеты в ближайшие пятьдесят лет. При этом в развитых

странах сохранится тенденция к увеличению продолжительности уровня жизни. В долгосрочной перспективе развивающиеся страны пройдут демографический переход и стабилизируют численность своего населения. Повышение спроса и рост цен на продукты питания вследствие роста населения Земли и глобальных катаклизмов. К 2035 году потребность в продуктах питания возрастет на 35%, что приведет к нехватке посевных площадей.

Особенностью России также является низкая плотность населения при протяженной территории. Передовые технологии могут играть важную роль в географической экспансии игроков в регионы за счет автоматизации и стандартизации цепочки поставок (например, в распределительных центрах). Также за счет развития цифровой экономики представляется возможным увеличить доступность удаленных территорий и повысить качество жизни проживающего там населения.

Еще одним сдерживающим фактором является проблема занятости населения.

Меняются задачи работников в отраслях, в связи с чем перечень профессий можно классифицировать следующим образом:

- новые профессии, появляющиеся в связи с появлением новой технологии, новых запросов потребителей. Предполагают формирование таких надпрофессиональных навыков, как системное мышление, проектное управление, бережливое производство и т.д.
- изменяющиеся (под воздействием инновационных технологий) профессии;
- устаревшие профессии, исчезающие в результате процессов автоматизации и других социальных и технологических изменений [411].

По мере автоматизации все большего количества операций профессии будут видоизменяться. Согласно Атласу новых профессий, составленному Агентством стратегических инициатив, важнейшие профессии, которые возникнут в сфере биотехнологий, будут представлены урбанистами-экологами, архитекторами живых систем, биотехнологами, сити-фермерами и ГМО-агрономами. Развитие отрасли приведет к замене производства химических лекарственных средств и бытовой химии производством препаратов биосинтеза; развитию новых агротехнологий; строительству безотходных городов, в которых пища и энергия производятся из выращиваемых в городе растительных и микробиологических культур, а мусор перерабатывается в новые ресурсы; к распространению альтернативной биоэнергетики и биотоплива.

В сфере медицины появятся IT-медики, биоэтики, генетические консультанты, эксперты персонифицированной медицины и консультанты по здоровой старости.

В производстве энергии, ее передачи и хранения рабочие место будут почти полностью автоматизированы, начнет развиваться альтернативная энергетика, появятся новые типы ее генерации (энергия тела, рекуперация энергии и т.д.) и «умные сети» с интеллектуальным управлением. К числу новых профессий этой отрасли относятся метеоэнергетики, дизайнеры переносных энергоустройств и проектировщики энергонакопителей. Автомобили с двигателями внутреннего сгорания потеснят электрокары, как следствие, появятся электрозаправщики и энергоаудиторы.

В области наземного, водного транспорта, а также авиации будут заняты проектировщики интермодальных транспортных узлов, проектировщики композитных конструкций для транспортных средств, проектировщики интерфейсов беспилотной авиации, технологи рециклинга летательных аппаратов.

Космической отрасли понадобятся космобиологи, космогеологи, а также инженеры-космодорожники.

В последние годы происходит революция в материаловедении, связанная с распространением новых материалов, обладающих повышенной прочностью, легкостью, пластичностью. В связи с этим в ближайшее время российской экономике понадобятся такие профессии, как глазир, проектировщик композитных материалов, специалист по безопасности в наноиндустрии.

В сфере информационных технологий одновременно идут процессы:

- повышения мобильности цифровых решений;
- роста объема проходящих в сети данных,
- развития технологий дополненной реальности.

IT-сектор будет нуждаться в архитекторах виртуальности, проектировщиках нейроинтерфейсов, цифровых лингвистах, а также разработчиках моделей Big Data.

Спрос на добычу полезных ископаемых, который сохранится в ближайшие годы на высоком уровне, потребует таких специалистов, как экоаналитик, инженер роботизированных систем, системный горный инженер.

Соответственно строительству и машиностроению понадобятся профессии архитектора «энергонулевых домов», прорабов-вотчеров, проектировщиков робототехники и инженеров-композитчиков.

Потребуются новые подходы к обучению и готовность к массовому переобучению кадров. Существенная часть профессий исчезнет из-за развития новых технологий. При этом не все специалисты будут способны пройти переобучение, что может вызвать излишнюю социальную напряженность. Государству необходимо будет использовать ряд превентивных действий с целью не допустить социального напряжения. Необходимо попытаться включить стареющее население в активную экономическую деятельность при помощи использования новых технологий.

Еще один социальный барьер данной группы выявлен в системе образования. Наблюдается отстраненность получаемых знаний от практики, поэтому повышение качества образования также заслуживает пристального внимания. Недостаток практики обуславливает низкую вероятность пригодности полученных знаний в дальнейшей работе по специальности, свидетельствуя о низкой эффективности цифрового образования. В настоящее время отсутствуют профессиональные стандарты для специалистов по передовым технологиям.

Образование также начинает зависеть от технологий по двум причинам: во-первых, наблюдается рост значимости и ценности технического образования по мере превращения технологий в важный элемент бизнеса, и, следовательно, оно начинает рассматриваться как целесообразный путь для развития карьеры многими студентами. Во-вторых, технология используется для обучения широкому спектру предметов, открывая студентам доступ к внешним источникам информации, мультимедийным образовательным материалам и новым возможностям взаимодействия с преподавателями и сокурсниками. По этим причинам большой угрозой, которую представляют собой новые технологии для права на образование, является возможность их использования как средства расслоения населения по уровню доходов и доступу к технологиям.

Также необходимо учитывать современные миграционные тенденции. Приток населения идет как в более развитые страны, так и в крупные города развивающихся государств. Это ведет к увеличению доли городского населения и изменению образа жизни значительной прослойки людей. Возросшая нагрузка на городскую инфраструктуру может быть решена при помощи внедрения умных технологий в городскую среду.

Для России подобная тенденция представляется негативной по причине прогнозируемого сокращения населения, сочетающегося с демографическим взрывом в государствах Средней Азии и направлением миграционных потоков.

Также наблюдается неравномерный доступ регионов и социальных групп к передовым технологиям, что является сдерживающим экономическое развитие фактором. Особенно большой разрыв сохраняется между Москвой и регионами: использование электронных сервисов в Москве примерно в пять раз выше, чем в остальных регионах. Это говорит о необходимости дальнейшей работы над охватом все более значимой доли населения инновационными технологиями, а также о потенциале повышения эффективности процессов взаимодействия.

Онлайн-потребление в России росло за последние 5 лет опережающими темпами – в среднем на 27% в год [412]. Важным достижением последних пяти лет является стремительное развитие новых интернет-зависимых сегментов: туризма, игр, медиа, банковских услуг и пр. Эти сегменты суммарно составляют больше половины объема электронной коммерции.

Важно отметить, что внедрение передовых технологий может послужить не сокращению, а росту социального неравенства. В связи с этим необходимо заранее проводить продуманную политику в сфере образования, разрабатывать комплексные программы переквалификации кадров и непрерывного обучения.

В медицине происходит переход от диагностики и лечения болезней отдельных органов и тканей к системной работе со здоровьем человека, в связи с чем получает распространение превентивная медицина, задачей которой является выявление возможных заболеваний и предотвращение их развития на ранней стадии.

Медицина активно взаимодействует с биотехнологической отраслью в вопросах фармакологии и создания пересаживаемых тканей и органов. При диагностике, лечении и протезировании будут использоваться различные типы роботов и киберустройств.

В российском здравоохранении продвинутые цифровые технологии пока не получили широкого распространения ни во взаимодействии с пациентами, ни во внутренних процессах. Основным препятствием для внедрения в России инновационных технологий в медицине является отсутствие нормативно-правовой базы, протоколов и стандартов работы с данными. Согласно Федеральному закону от 29 июля 2017 г. № 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья», «телемедицинские технологии, применяемые при оказании медицинской помощи; информационно-коммуникационные технологии, обеспечивающие дистанционное взаимодействие участников информационного обмена в процессе оказания медицинской помощи, в том числе их идентификацию и обмен медицинской документацией в электронном виде». Однако вопросы электронного документооборота, предоставления медицинской помощи с применением телемедицинских технологий остались нераскрыты. Таким образом, основной преградой для развития цифровой медицины в России сегодня является законодательство. Однако и после устранения этой преграды потребуются системные изменения, требующие слаженной работы всех участников сектора, – например, разработка стандартов данных, изменение системы финансирования здравоохранения и т. д.

Развитие отрасли будет способствовать сверхточной диагностике состояния здоровья на протяжении всей жизни, возможности прогнозировать заболевания; применению компьютерного моделирования развития болезни и индивидуальных методик лечения, высокоточной автоматизированной микрохирурги, микродиагностические устройства, позволяющие мгновенно сообщать врачу о серьезных изменениях в здоровье пациента, а также получать консультации у любого специалиста через «облачные базы» выращивание тканей и органов из неотторгаемых биоволокон.

В энергетике технологии производства, передачи и хранения энергии со временем станут автоматизированными и практически не будут требовать вмешательства человека, активно начнет развиваться альтернативная энергетика, появятся новые типы ее генерации (энергия тела, рекуперация энергии и т. д.) и «умные сети» с интеллектуальным управлением. В настоящее время необходимым является разработка профессиональных стандартов для специалистов в области интеллектуальной энергетики.

Интеллектуальные системы становятся неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры, как в управлении дорожным движением, так и в управлении транспортными средствами, а в производстве и строительстве находят применение новые материалы. Отсутствие нормативно-правовой базы, определяющей особенности эксплуатации интеллектуальных систем мониторинга и управления наземным, водным и воздушным транспортом, является законодательным барьером для развития данной отрасли.

Другим барьером является отсутствие правовых норм, необходимых для вывода на рынок товаров и технологий с применением новых материалов. В последние годы происходит революция в материаловедении, связанная с распространением новых материалов, обладающих повышенной прочностью, легкостью, пластичностью. Благодаря использованию таких материалов качество изделий в аэрокосмической промышленности, машиностроении, строительстве и т. д. значительно повышается, а возможности их применения расширяются. Например, в строительстве использование конструкционных материалах с заданными свойствами позволяет предлагать новые архитектурные решения, ранее недоступные.

В сфере информационных технологий одновременно идет несколько важных процессов:

- повышение мобильности цифровых решений;
- рост объема проходящих в сети данных;
- развитие технологий дополненной реальности.

Перспективное направление – проектирование виртуальных пространств и интерфейсов для взаимодействия с ними. Отсутствие стандартов для использования технологий дополненной реальности в таких сферах жизни человека, как медицина (технологии диагностики и лечение заболеваний нервной системы (фобий, депрессий, деменций) с помощью технологий виртуальной и дополненной реальности с высокой долей эффективности) является одним из законодательных барьеров для развития рынка передовых цифровых технологий.

В экономической сфере продолжается тенденция на изменение ныне существующих цепочек в сторону капитала знаний. Возрастает значение постоянного обучения и возможности адаптироваться под постоянно меняющийся рынок. Происходит постепенная кастомизация выпускаемых продуктов, увеличивается необходимость соответствовать предпочтениям отдельных покупателей. В условиях продолжения усиления глобальной конкуренции и снижения жизненных циклов продукции резко сокращается инновационный цикл создания и распространения технологий. Способность к созданию новых продуктов становится ключевым условием сохранения конкурентоспособности компаний и экономики в целом.

Бизнес-модели, основанные на принципах экономики совместного потребления и электронных платформах, приведут не только к трансформации сложившихся рынков и возникновению новых, но и к исключению посредников из производственных цепочек, сокращению издержек бизнеса и расходов населения. Прогнозируется замена рутинного и не требующего интеллектуальных усилий труда искусственным интеллектом и общая роботизация экономики.

Ключевой проблемой для России является слабое взаимодействие науки с реальным сектором экономики, низкая инновационная активность предприятий, неблагоприятный инвестицион-

ный климат, в том числе для развития стартапов, и низкая конкурентоспособность российской продукции за рубежом. Существует тенденция к переезду одаренных представителей российского научного и бизнес-сообществ в другие страны. При этом у России имеется высокий потенциал в сфере человеческого капитала и научных достижений.

Учитывая технологическое отставание в ряде отраслей экономики, особое значение будет иметь создание новых производств на базе принципиально новых технологических инноваций, и формирование связанных с ними технических регламентов и стандартов, опережающих сложившуюся международную практику.

Также к экономическим барьерам относятся ограничения, с которыми сталкиваются хозяйствующие субъекты непосредственно в процессе производства инновационной продукции, например:

- страхование ответственности за причинение вреда (в авиации, энергетике);
- квотирование обязательных поставок важнейших видов материально-технических ресурсов;
- регистрация предельных отпускных цен на отдельные виды изделий;
- обязательное членство в саморегулируемых организациях;
- ограничения федеральной контрактной системы и т.д.
- торговая политика ряда стран, включающая демпинговые меры;
- неблагоприятный налоговый режим для развития импортозамещения, например, в нефтегазовой отрасли;
- отсутствие протекционистской политики для внутреннего рынка и в части экспорта для перспективных отечественных разработок и т. д.;

Также в целях повышения эффективности совокупных бюджетных расходов на разработку, закупку, эксплуатацию и утилизацию изделий необходимо модернизировать существующие модели управления процессами планирования и реализации действующих федеральных и ведомственных целевых программ, реализующих и обеспечивающих государственные закупки.

Внедрение передовых технологий будет способствовать в среднесрочной перспективе ряду качественных изменений на предприятиях, таких, как повышение эффективности НИОКР (быстрое прототипирование, контроль качества, анализ больших массивов данных при разработке продуктов); повышению производительности оборудования (повышение нагрузки оборудования и сокращение простоев); оптимизации производственных и логистических операций (мониторинг производственных линий и оптимизация логистических маршрутов); повышение эффективности рынка труда (появление новых профессий и создание рабочих мест, возможность удаленной работы, эффективного и быстрого ее поиска); снижению расхода ресурсов и производственных потерь (производственных потерь сырья, расходов электроэнергии и топлива).

В связи с тем, что финансирование выпуска инновационной гражданской продукции в Российской Федерации идет, в основном, за счет собственных средств хозяйствующих субъектов, ряд существующих барьеров обусловлен отсутствием необходимой производственной, компонентной базы. Так, сегодня промышленные предприятия отмечают потребность в следующих информационных системах / базах данных:

- централизованной электронной системе хранения конструкторской документации для управления и обмена знаниями в рамках отраслей;

- единой федеральной базе инновационных технологий и предприятий-производителей, находящейся в свободном доступе для разработчиков;

- единой базы отечественных радиоэлектронных компонентов, разрабатываемых в рамках импортозамещения;

- общей, управляемой государством, информационной системы контроля за промышленным производством, которая консолидировала бы потребности рынка, формировала оптимальную схему кооперации, обеспечивала концентрацию ресурсов на приоритетных направлениях и обеспечивала контроль за исполнением заказов на высокотехнологичную продукцию,

- отраслевых номенклатурных каталогов промышленного технологического оборудования, выпускаемого на территории таможенного союза, с ежегодным переизданием.

Среди причин низкой инновационной активности руководство промышленных предприятий выделяет отсутствие следующих возможных механизмов стимулирования производства инновационной продукции:

- отсутствие у предприятий – разработчиков продукции прямых механизмов стимулирования разработки и выпуска инновационной продукции, в первую очередь через внедрение уведомительного характера уменьшения налогов (НДС, налог на прибыль), поступающих в федеральный бюджет, в зависимости от объема инновационной продукции;

- отсутствие у предприятий – разработчиков льгот по налогам / регрессных налоговых механизмов на выпуск инновационной продукции в связи с отсутствием формализованного на законодательном уровне понятия «инновационная продукция», в связи с чем фискальные органы не имеют возможности разработать и утвердить механизм расчета объема выпуска инновационной продукции;

- отсутствие мер поддержки, стимулирующих применение предприятиями цифровых систем автоматизированного проектирования и аддитивных технологий, ускоряющих процесс разработки инновационной гражданской продукции;

- отсутствие на предприятиях внутренних фондов для развития гражданской продукции, дающих возможность руководителям проводить на конкурсной основе финансирование прорывных разработок на начальной стадии для создания лабораторных образцов / демонстраторов;

Среди прочих причин, являющихся барьерами для внедрения передовых технологий, хозяйствующие субъекты выделяют недостаточный уровень исследования отраслевых рынков (к примеру, рынка гражданской метеорологической продукции), которые требуют значительных вложений на проведение маркетинговых исследований, а также временных затрат; отсутствие узкоспециализированных курсов по повышению квалификации инженерно-технического персонала; и даже устаревшие трудовые нормативы.

5.4. Выводы исследования

На основе анализа источников выявленные барьеры можно сгруппировать следующим образом **(см. полную информацию по барьерам в Приложении 3):**

1. барьеры, связанные с недостаточным пониманием тенденций развития науки и технологий и социальным неприятием после внедрения: недостаточный уровень исследования отраслевых рынков:

- отсутствие предиктивного анализа работы сложных технических систем;
- отсутствие нормативно-правовой базы для регулирования новых направлений телемедицины, медицинской генетики;
- недоверие людей к новым (цифровым) технологиям, барьеры, вызванные опасениями, что новые технологии можно будет использовать для слежки за людьми и другие;

2. барьеры, связанные с устаревшим законодательством и ограничениями, обусловленными техническим регулированием, и вызванные отсутствием единообразия в подходе среди различных отраслей права:

- отсутствие национальных стандартов, правил хранения и архивации документов,
- необходимость в «бумажном документообороте»,
- беззащитность личности перед вторжением государства и коммерческих структур в частную жизнь,
- отсутствие нормативно-правовой базы, регулирующей этические аспекты технологий виртуальной и дополненной реальности, применяемых в медицине,
- отсутствие стандартов, регулирующих этические аспекты применения генной инженерии и другие;

3. барьеры, связанные с ожидаемыми существенными изменениями образа жизни человека и глобальными сдвигами на рынке труда, вызванные происходящими экономическими изменениями, способствующие росту социальной нестабильности, могут усилить поляризацию обществ, которое будет разделено на нашедших себя в рамках цифровой экономики и людей, оказавшимися безработными:

- истощение природных ресурсов, неравномерный доступ регионов и социальных групп к передовым технологиям,
- исчезновение ряда профессий,
- снижение интеллектуальных способностей человека, обусловленное цифровой зависимостью,
- отсутствие необходимой модели обучения, способной сформировать необходимые качества в новых условиях и профессиях,
- неготовность российских образовательных институтов к вызовам промышленной революции и другие;

4. барьеры, связанные с экономическими ограничениями, в том числе рисками изменения конкурентных позиций на рынке и рисками перераспределения рынка в целом, вызванные в том числе:

- ускорением, удешевлением и децентрализацией процессов разработки и массового производства инновационной продукции,
- отсутствием мер экономического стимулирования применения поставщиками новых технологий при выполнении государственных контрактов и контрактами с отдельными видами юридических лиц,
- имеющимися разрывами инновационного цикла,
- неблагоприятным инвестиционным климатом,
- технологическим отставанием в ряде отраслей экономики,
- низкой конкурентоспособностью российской продукции на зарубежных рынках;

5. барьеры, связанные с отсутствием необходимой производственной, компонентной базы, способов и механизмов ее создания, связанные с

- обеспечением доступа хозяйствующих субъектов к электронным техническим архивам, базам данных,
- созданию условий для модернизации изделий, повышение уровня субсидирования организаций, занимающихся разработками,
- отсутствие условий для оказания новых видов диагностических услуг и продуктов с использованием информации больших данных о человеке,
- необходимость реструктуризации/локализации на территории Российской Федерации разработок и услуг телемедицины, биомедицины, биобанков, генной инженерии и т.д.

Предложения по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров можно отнести в одну из четырех основных групп:

- предложения по внесению изменений в документы по техническому регулированию (нормативные акты по стандартизации и оценке соответствия);
- предложения по внесению изменений в нормативную базу, касающуюся правил безопасности в отраслях (пожарной, медицинской, санитарной и так далее);
- предложения по изменениям в законодательные акты общего характера (кодексы, федеральные законы, государственные программы и т.д.);
- предложения по необходимости экспертизы (оценки) предлагаемого к принятию нормативного правового акта на предмет соответствия содержащихся в нем положений целям реализации государственных программ, направленных на развитие в стране инновационных технологий.

План работы по внесению изменений в законодательство можно разделить на три этапа:

1. приоритизация нормативных документов;
2. разработка механизма внесения изменений в нормативные документы;
3. запуск процесса внесения изменений.

Научно-технологическое развитие должно стать необходим структурным условием для вхождения России в группу стран с высокими показателями экономического роста.

Создание и распространение информационно-коммуникативных технологий нового образца, передовых цифровых, производственных технологий, искусственного интеллекта, робототехники, электроники нового поколения, новых источников энергии, увеличение доли цифровой экономики, развитие новых методов научных исследований, таких как моделирование, обработка больших данных, роботизация экспериментов, междисциплинарность исследований и разработок вызывают масштабную перестройку экономики на базе новых технологических решений. Технологический прорыв становится основой для создания новых секторов экономики и трансформации старых. Технологические инновации охватывают все сферы функционирования государства, общества и экономики.

Развитие человеческого общества не успевает за технологическим развитием. Помимо прочего, индустриальная революция будет сдерживаться ресурсными ограничениями отдельных стран, так как на широкое внедрение новейших изобретений, которые могут быстро устареть, требуется значительное количество финансовых вложений.

Отдельные технологические новшества будет невозможно внедрить из-за существующих на данный момент этических ограничений, что негативно скажется на развитии таких отраслей, как биоинженерия, генетика. Сбор и интеграция персональных генетических данных неизбежно приводит к возникновению нерешенных этических и законодательных вопросов, связанных с защитой персональных данных, доступом и правами использования данных. На сегодняшний день барьером выступает отсутствие баз данных, позволяющих, с одной стороны, обеспечить открытость данных для ведения исследований и использования их в медицинской практике, а, с другой стороны, включать механизмы защиты персональных данных.

В связи с этим социальными барьерами выступают ограничения, связанные с развитием таких отраслей, как биоинженерия, генетика и кибернетика, где возникает угроза того, что новые технологии будут использоваться для слежки за людьми. Отдельные технологические новшества будет невозможно внедрить из-за существующих на данный момент этических ограничений. Реальные этические вопросы новых генных технологий многочисленны и требуют разрешения.

В настоящее время различными документами и программами определены сквозные / прорывные технологии, обладающие значительными перспективами и способные радикально изменить экономические и социальные аспекты жизни общества. Это нейротехнологии, Big Data, искусственный интеллект, квантовые технологии, передовые цифровые, производственные технологии, сенсорика, робототехника, дополненная реальность и т.д. Развитие «сквозных» технологий будет способствовать существенному увеличению общей производительность экономики, социальной сферы; обеспечению достижения нового качества производственных процессов; переходу к выпуску продуктов на новых рынках.

Эксперты рассматривают для России два возможных сценария научно-технологического развития: консервативный и инновационный. При этом наиболее вероятным является вариант, при котором в разных секторах будут складываться различные условия, благоприятствующие консервативному или инновационному сценариям [413].

При этом повышение доли затрат на исследования и разработки должно достигаться за счет активности предпринимательского сектора науки. Необходимым условием для этого должна стать реализация комплекса организационных, правовых и иных мер, направленных на существенное повышение эффективности расходов на исследования и разработки, обеспечиваемых из всех источников. Объединение инвестиционных усилий государства и бизнеса позволит совершить технологический рывок в полном масштабе. В случае успеха рост финансирования

будет сопровождаться завершением институциональных преобразований, обеспечивающих повышение эффективности деятельности научных организаций.

Следует отметить, что в настоящее время разработка высокотехнологичных инновационных изделий осуществляется с применением современных технологий. Однако в процессе создания инновационного продукта разработчики сталкиваются с рядом проблем (барьеров), связанных с устаревшей законодательной базой и ограничениями действующей системы технического регулирования.

С учетом обострившейся за последние годы проблемы правового регулирования попытки модернизации продуктов и услуг могут привести к тяжелым правовым последствиям.

Устранение или снижение предусматриваемых действующим законодательством и документами по техническому регулированию административных барьеров будет способствовать развитию новых технологических решений.

Приоритетные задачи определены нормативными дорожными картами НТИ:

- устранение барьеров для использования цифровой проектно-конструкторской и эксплуатационной документации, возможность взаимодействовать между собой и с государственными в безбумажном виде;
- снятие технических барьеров, связанных с отсутствием единых форматов подготовки и приемки цифровой документации;
- расширение возможностей заявителей предъявлять уполномоченными органами результаты вычислительных экспериментов взамен натурных испытаний;
- внедрение новых методик оценки соответствия инновационной продукции, создаваемой с использованием передовых технологий;
- устранение барьеров использования новых технологий (например, аддитивного производства), новых материалов (например, композитов) и изделий из них, развития новых рынков (например, рынок беспилотных авиационно-космических систем, комплексных решений и услуг на их основе);
- обеспечение соответствия национального законодательства международным нормативно-правовым актам и т.д.

Таким образом, необходимо обеспечить соответствие нормативно-технической базы уровню развития техники, которое стимулирует внедрение прорывных технологий.

Помимо этого, необходимо также устранение барьеров, обусловленных устаревшим законодательством и возникающих в процессе хозяйственной деятельности предприятия, производящего инновационную продукцию, в том числе:

- барьеров, затрудняющих легализацию инновационной продукции (государственная регистрация продукции, оценка соответствия, сертификация, подтверждение качества путем оформления паспорта качества, подтверждение соответствия требованиям пожарной безопасности, экологическим нормам и т.д.);
- затрудняющих вывод на рынки и (или) обращение инновационных продуктов на рынках барьеров: отсутствие норм, необходимых для правового обеспечения вывода на рынок инновационных продуктов, либо избыточные нормы, запреты и ограничения, связанные

с производством и реализацией таких продуктов, либо нормы, возлагающие дополнительные необоснованные расходы на производителей инновационной продукции);

- затрудняющих выход на рынки участников производства инновационных продуктов (отсутствие норм, необходимых для правового обеспечения выхода на рынок субъектов инновационных видов предпринимательской деятельности);

- затрудняющих осуществление текущей деятельности (чрезмерное административное воздействие: контроль, надзор, учет и отчетность);

- затрудняющих легализацию статуса хозяйствующего субъекта (регистрация, лицензирование, аккредитация, подтверждение соответствия, уведомление о начале осуществления деятельности, подтверждение (исключения негативного воздействия или наличия площадей, оборудования, аттестованного персонала и т.д.);

- затрудняющих легализацию осуществляемой деятельности (государственная регистрация производственных объектов; квотирование производства; подтверждение исключения негативного воздействия или наличия специального оборудования, площадей, аттестованных сотрудников и т.д., получение разрешения на использование радиочастотных полос, сброс загрязняющих веществ и т.д.).

- затрудняющих координацию действий различных регуляторов, в зону ведения которых попадают различные аспекты создания и использования инновационных продуктов, в частности, различия в проводимой такими федеральными органами исполнительной власти, как Минпромторг России, Минкомсвязи России, Минэкономразвития России, ФСБ России, ФСО России, ФСТЭК России, политике в части развития инновационных технологий осуществляются не комплексно, что приводит к противоречиям и снижению эффективности;

- отсутствие статуса единственного поставщика к обладателям исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности отечественного производства, в связи с чем возникает необходимость во внесении изменении в соответствующую часть федерального закона от 05.04.2013 № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд»;

- продолжительные сроки процедуры сертификации медицинских изделий, что приводит к торможению выхода на рынок новой техники (до нескольких лет), что требует пересмотра и адаптации сроков рассмотрения и согласования заявлений на получение регистрационного удостоверения. Возможна ситуация, когда быстрее получить на медицинское изделие сертификат CE в Европе и ввезти его в страну как импортную технику;

- неиспользование разработанного ноу-хау патентообладателем – необходимо внести в федеральный закон от 29 июля 2004 г. № 98-ФЗ «О коммерческой тайне» норму, предполагающую в случае неиспользования обладателем секрета производства (ноу-хау) своего права на использование ноу-хау в течение определенного срока предоставить такое право любому лицу, желающему и готовому использовать такие ноу-хау, путем заключения договора или через суд, обратившись с иском к обладателю о предоставлении исключительного права на использование на территории Российской Федерации секрета производства с указанием в исковом требовании предлагаемых условий предоставления такого права, в том числе объем использования, размер, порядок и срок платежей. Введение данной нормы будет способствовать коммерциализации результатов деятельности от использования секрета производства (ноу-хау) прежде, чем оно устареет и потеряет актуальность;

- продолжительные сроки проверки соответствия продукции требованиям, предусмотренным законодательством - в целях сокращения сроков проверки соответствия продукции требованиям, предусмотренным нормативными актами Российской Федерации, установить, что производитель продукции вправе направить в специально созданную комиссию уведомление с детальной информацией о характере внесенных изменений, а также заключение независимых испытательных центров, подтверждающих функциональные характеристики новых изделий. В случае, если в установленный срок не последует требования комиссии о прохождении обязательной сертификации, производитель имеет право на введение указанной продукции в оборот. Также сокращению сроков будет способствовать создание центров ускоренной (по сравнению с традиционными сертификационными центрами) сертификации, осуществляющих экспертизу новых / модификацию старых изделий;

- длительные сроки таможенного оформления грузов, в том числе уникальных научных установок, ввозимых на территорию Российской Федерации – необходимо предоставление преференций и льгот в области требований, связанных с таможенным оформлением и сертификацией ввозимых на территорию страны уникальных научных разработок.

6. НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЗАДЕЛА ПО ПРИОРИТЕТУ 20А СТРАТЕГИИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

К.О. Вишневский, Ю.В. Туровец (НИУ ВШЭ)

6.1. Цифровизация инструментов научно-технологической политики. Методология интеллектуального анализа больших данных с помощью системы iFORA

Передовые технологии формируют новые источники роста для национальных экономик, существенно трансформируя социально-экономические процессы. Достижение значимых для общества эффектов зависит от встраивания новых технологий в систему производственно-технологических отношений, развитие которой должно опираться на обоснованные прогнозно-аналитические данные. Необходимость построения опережающей системы управления научно-технологическим развитием признается приоритетом на международном и национальном уровнях. Наряду с высококвалифицированными кадрами и развитой инновационной инфраструктурой для перехода к проактивной политике в сфере науки и технологий необходимы новые механизмы и инструменты, среди которых все более активно используются цифровые решения. Этому способствует ряд факторов:

- необходимость гибкого реагирования на глобальные вызовы и «черных лебедей» (событий с низкой вероятностью наступления, но значительным потенциальным эффектом);
- усложнение научно-производственных отношений и возрастание генерируемых объемов данных;
- вовлечение в исследовательские процессы значительного числа участников;
- необходимость координации усилий различных участников на фоне конвергенции различных областей науки и техники, междисциплинарного характера проектов.

Цифровые решения упрощают и ускоряют процессы планирования, реализации, координации, мониторинга, оценки эффективности мер политики и проектной деятельности. Такие инструменты становятся все более востребованными отдельными стейкхолдерами и странами в целом.

Цифровизация систем управления научно-технологической политикой, равно как и самой наукой, формирует основу для комплексной поддержки перспективных направлений и, таким образом, ответа на большие вызовы. Все это позволяет выйти на качественно новый уровень реализации проектов в области науки и технологий, развитие которых в конечном счете определяет уровень благосостояния страны.

Цифровая трансформация отраслей экономики и социальной сферы относится к числу национальных целей на период до 2030 года, согласно Указу Президента Российской Федерации №474 от 21.07.2020 [414]. Для этого создаются необходимые регуляторные и организационные условия. В рамках национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации» предусмотрены мероприятия, формирующие систему поддержки разработки и внедрения решений на основе цифровых технологий в различных секторах экономики.

Приоритетность развития цифровых технологий также обозначена в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, где «цифровой блок» включает передовые

цифровые и интеллектуальные производственные технологии, роботизированные системы, новые материалы и способы конструирования, системы обработки больших объемов данных, машинное обучение и искусственный интеллект (приоритет «20а») [163]. Создание отечественных разработок по данным направлениям вносит значимый вклад в снижение зависимости российской экономики от зарубежных решений, обеспечивает технологическую модернизацию и конкурентоспособность промышленных предприятий на глобальных рынках в условиях нового технологического уклада.

Для выявления ключевых направлений развития стратегического приоритета «20а» проведен интеллектуальный анализ данных с помощью системы iFORA, разработанной ИСИЭЗ НИУ ВШЭ. На сегодняшний день система охватывает более 350 млн документов (высокоцитируемых научных публикаций, патентов, рыночной аналитики, отчетов консалтинговых компаний и др.) и ежедневно пополняется 30 тыс. новых. Подбор источников для базы данных проводится с учетом репутационной оценки качества[29] и надежности, в том числе рейтингов крупных аналитических агентств, охвата аудитории профессиональных интернет-ресурсов и др. Для обработки значительных массивов текстов применяются алгоритмы машинного обучения и методы семантического анализа.

Результаты анализа визуализированы в форме семантических, тренд-карт, матрицы секторов и продуктов / сервисов. Картирование может производиться для отдельных областей науки и техники, технологии или рынка, развитие которых может оказать влияние на реализацию стратегического приоритета. Подобный подход способствует структурированию информации, выявлению угроз и возможностей, а также зарождающихся технологических направлений.

Семантические карты представляют автоматически формируемые совокупности наиболее значимых технологий и отражают их взаимосвязь в контексте анализируемого направления науки и техники. Подобные карты разрабатываются на базе больших объемов текстовых данных, включая научные публикации, патентную информацию, отраслевую аналитику.

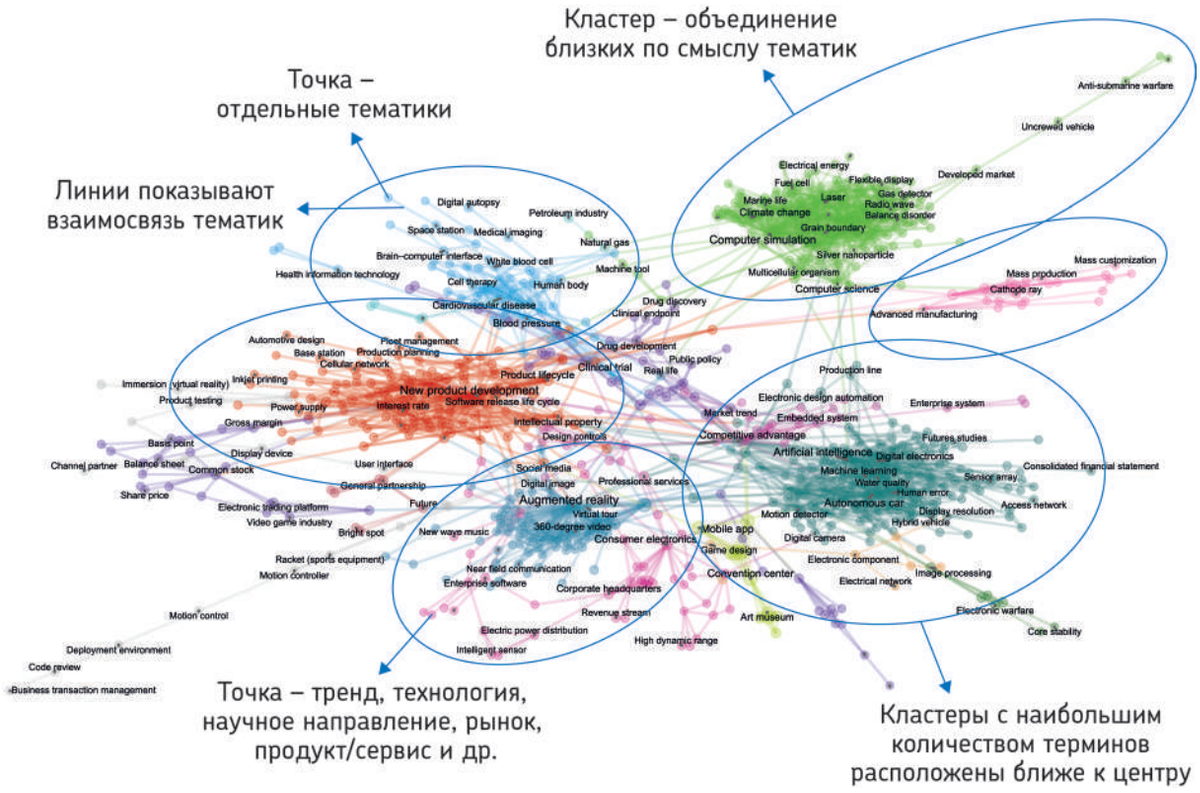
Семантические карты построены по отдельным научно-технологическим направлениям и представляют совокупности технологий и продуктов, обозначенные круговыми значками, при этом степень их значимости соответствует размеру значка и шрифту подписи. Подписями сопровождаются значки, которые обладают более высокими показателями центральности[30] и значимости[31] в сравнении с остальными. Связи между технологиями и продуктами отмечены линиями между значками и определяются расстоянием между ними: чем ближе, тем более тесная связь. Близкие по смыслу понятия объединены в тематические кластеры (группы), при этом ближе к центру карты расположены кластеры с наибольшим числом терминов.

29 Репутационный анализ предусматривает оценку частоты появления в средствах массовой информации и значимости источников, что позволяет выявить наиболее авторитетные в научной и экспертной среде.

30 Значимость – показатель, отражающий относительную частоту встречаемости термина в анализируемом пуле документов.

31 Центральность – комбинированный показатель, который учитывает количество и силу семантических связей термина с другими терминами в текстах.

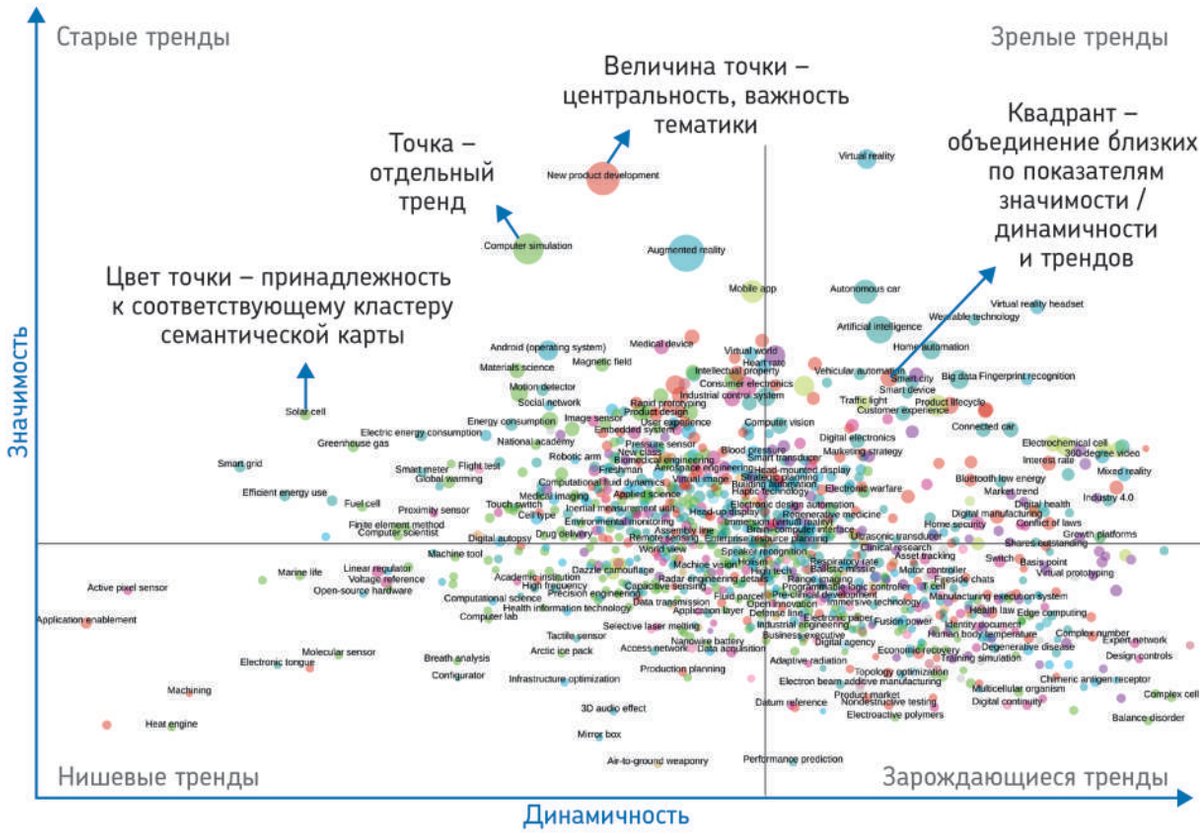
Рисунок 137. Пример Пример семантической карты



Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA

Тренд-карты дополняют семантические карты, показывая динамику развития технологий по четырем квадрантам: в правом верхнем – зрелые тренды (значимые и динамичные), в правом нижнем – зарождающиеся («слабые сигналы», растущие тематики), в левом верхнем – стабильные (устойчивые тематики), в левом нижнем – нишевые тренды. Они позволяют выявить «слабые сигналы» – возникающих технологий и формирующихся рынков. Приведенные на тренд-картах технологии и продукты обозначены точками, цвета которых соответствуют цветам круговых значков на семантической карте.

Рисунок 138. Пример тренд-карты



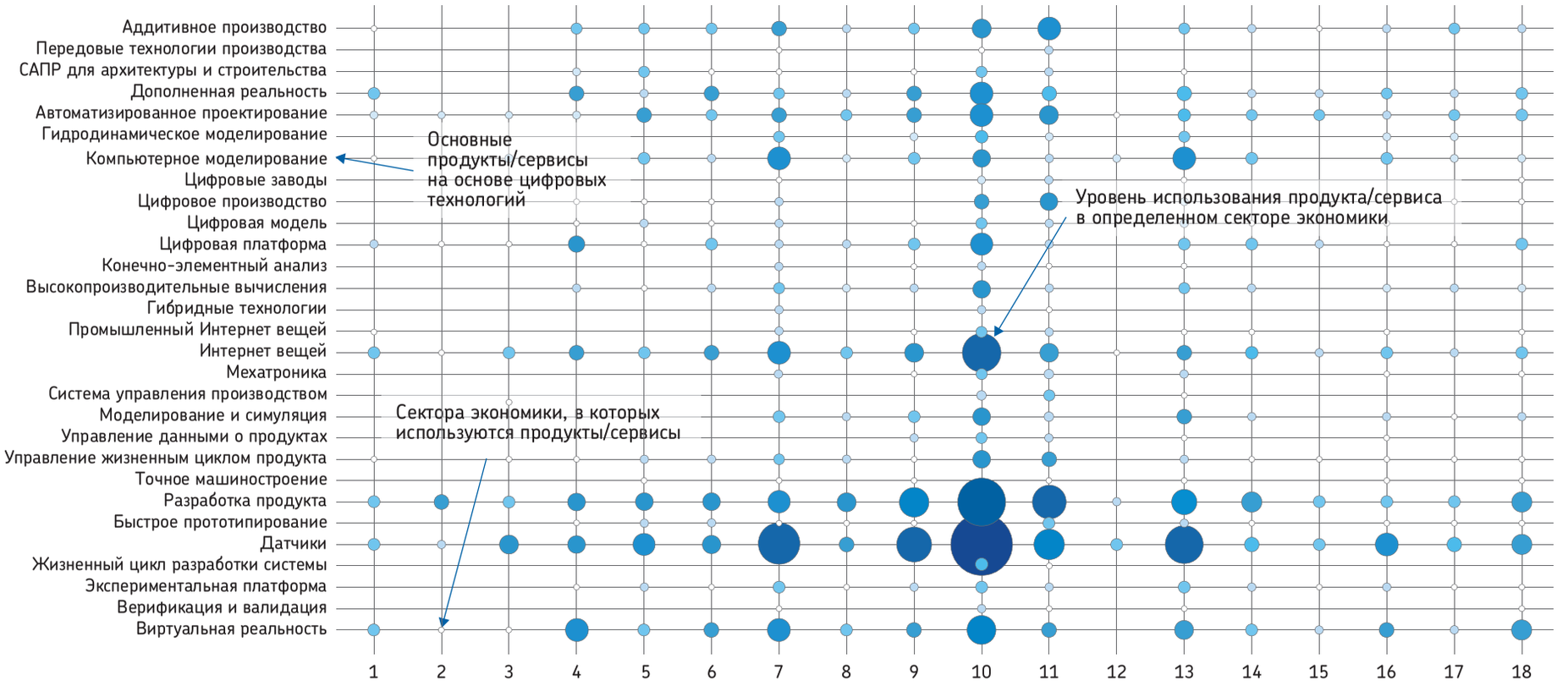
Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA

Применение отдельных технологий иллюстрируют матрицы секторов и продуктов / сервисов на основе цифровых технологий, которые позволяют оценить уровень использования технологий в секторах экономики и социальной сферы.

На горизонтальной оси указаны сектора экономики, на вертикальной – технологии, а также продукты / сервисы на их основе. Наличие кругового значка на пересечении строки и столбца означает, что термин упоминается в большом массиве текстов в отношении определенного вида деятельности, а размер точки – частоту совместной встречаемости (упоминания). Сектора на матрицах соответствуют Общероссийскому классификатору видов экономической деятельности (ОКВЭД2), который гармонизирован со Статистической классификацией экономической деятельности, действующей в Европейском сообществе (Statistical classification of economic activities in the European Communities, NACE) [415].

Все три набора карт позволяют сформировать целостную картину развития направления, учитывая текущие тренды развития, их динамику и процессы проникновения в различные виды деятельности. На их основе становится возможной разработка рекомендаций в области научно-технологической политики.

Рисунок 139. Пример матрицы секторов и продуктов/сервисов на основе цифровых технологий



1 – Гостиницы и предприятия общественного питания
2 – Административная деятельность и сопутствующие дополнительные услуги
3 – Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство
4 – Культура, спорт, организация досуга и развлечений
5 – Строительство
6 – Образование
7 – Электроснабжение, подача газа, пара и воздушное кондиционирование
8 – Финансовая и страховая деятельность
9 – Здравоохранение и социальные услуги
10 – Информация и связь
11 – Обрабатывающая промышленность
12 – Добыча полезных ископаемых
13 – Профессиональная, научная и техническая деятельность
14 – Государственное управление и оборона; обязательное социальное обеспечение
15 – Операции с недвижимым имуществом
16 – Транспортировка и хранение
17 – Водоснабжение, водоотведение, сбор и утилизация отходов, деятельность по ликвидации загрязнений
18 – Оптовая и розничная торговля; ремонт моторных транспортных средств и мотоциклов

Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

6.2. Основные результаты анализа реализации приоритета научно-технологического развития

Передовые производственные технологии как одно из направлений стратегического приоритета играют центральную роль для технологического обновления экономики. Интегрируя разработки из различных сфер, в глобальном ландшафте передовые цифровые и интеллектуальные производственные технологии одинаково широко представлены как в исследованиях, так и разработках. Особого внимания заслуживают только зарождающиеся тренды, которые могут стать потенциальными точками роста. Ниже приведен анализ и картирование направления, а также отдельные кейсы, иллюстрирующие особенности и эффекты применения технологий.

6.2.1. Глобальный технологический ландшафт в области цифровых технологий

Российская повестка исследований и разработок в области цифровых технологий в значительной мере соответствует международной. Всю совокупность технологий, представленную в актуальных исследованиях, можно объединить в семь ключевых кластеров: искусственный интеллект (далее – ИИ), «умный» город, машинное обучение и большие данные, интернет вещей, компьютерное моделирование, цифровые решения для медицины, виртуальная реальность. Технологическим ядром глобальной цифровой повестки являются технологии машинного обучения, большие данные и искусственный интеллект, искусственные нейросети. Развитие этих направлений будет происходить за счет совершенствования методов обработки естественного языка, метода опорных векторов, мультиагентных систем.

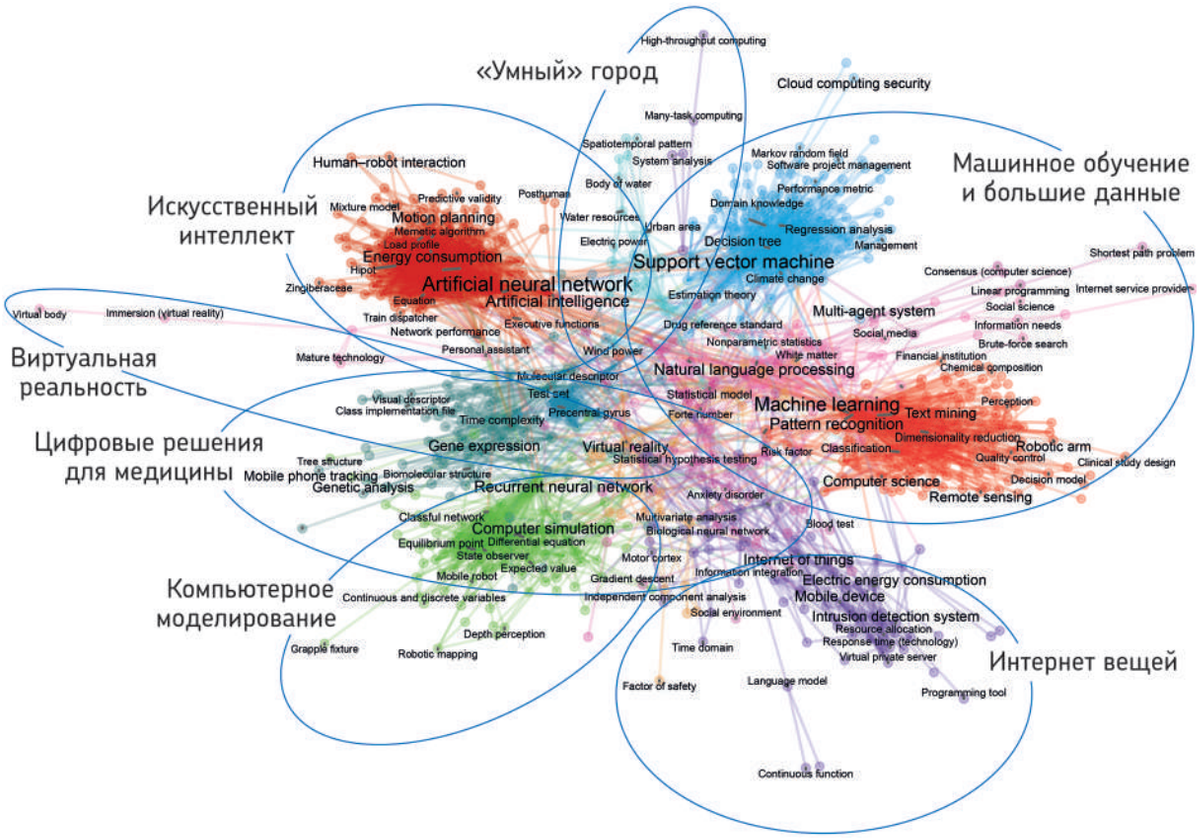
В условиях широкого проникновения решений на основе ИИ первостепенной задачей становится обеспечение безопасного человеко-машинного взаимодействия. Высокая научная активность также наблюдается по направлению цифровых решений для медицины в связи с высоким потенциалом коммерциализации. Вместе с тем их внедрение должно сопровождаться разработкой регуляторных правил, обеспечивающих безопасность использования.

Отдельным кластером является направление «умного» города, которое играет значимую роль и в цифровой повестке России. Проекты цифровизации городского хозяйства «Умный город» в 2019 году стартовали в целом ряде пилотных городов России. Их реализация направлена на создание комфортных условий, безопасной и современной среды для жизни, включая разработку «цифровых двойников города», внедрение систем общественной безопасности, «умного» городского транспорта, интеллектуальных систем учета коммунальных ресурсов, энергоэффективного освещения и др. [416].

Повсеместный рост интеллектуальных устройств инфраструктуры интернета вещей, основанной на киберфизических элементах, наблюдается в большинстве секторов экономики. Параллельно с этим постепенно расширяются сферы и задачи использования решений на основе виртуальной реальности как в потребительском, так и предпринимательском секторах.

Обзор разработок в области цифровых технологий в целом представляет более разнообразную палитру. Тем не менее, центральное положение также занимает искусственный интеллект (прежде всего машинное обучение и искусственные нейронные сети), вокруг которого сконцентрированы решения для электроэнергетики (интеллектуальные системы учета энергии) и здравоохранения (медицинские приложения, биоинформационные системы).

Рисунок 140. Глобальная повестка в области цифровых технологий на основе научных публикаций

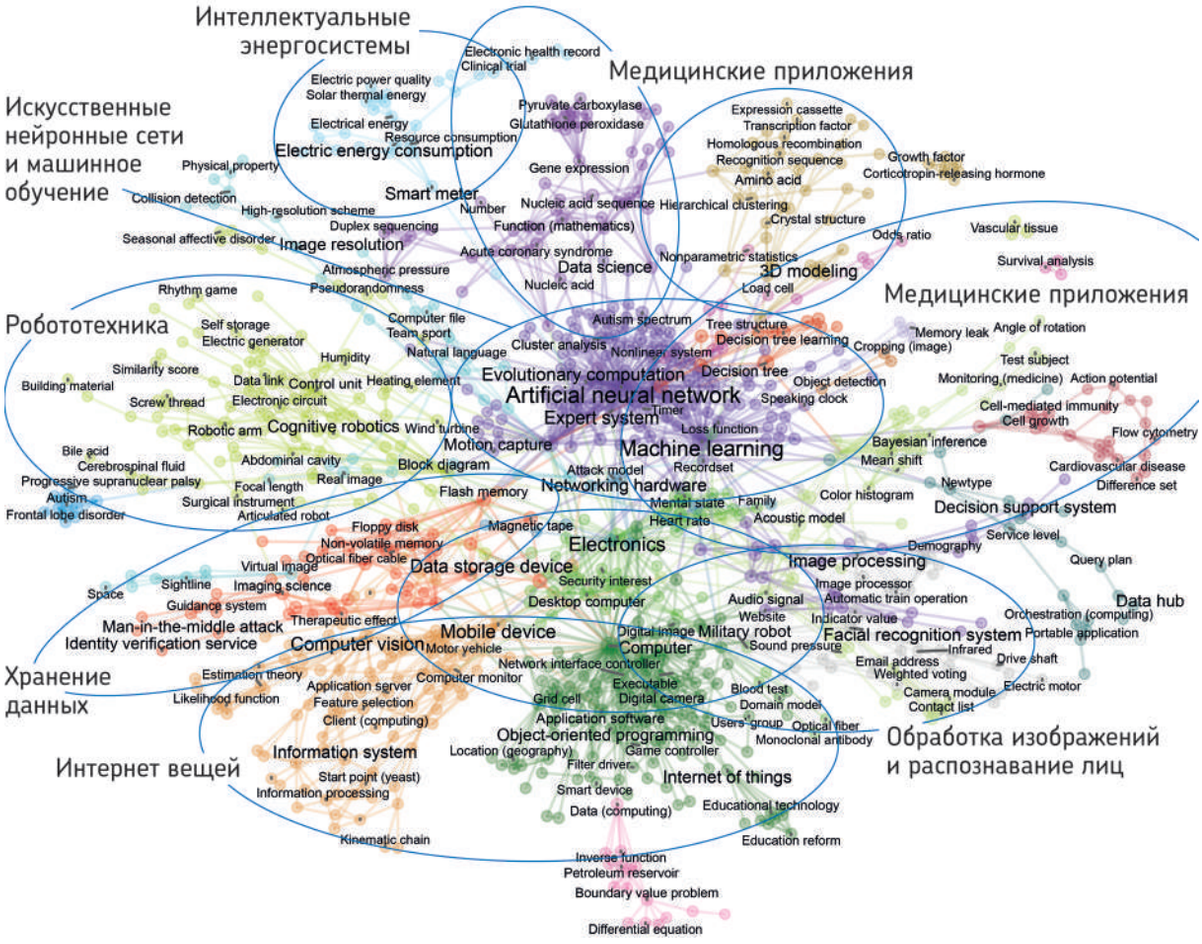


Примечание: Каждый круговой значок на карте – отдельная технология или продукт / услуга. Связь технологий, продуктов / услуг отражена с помощью линий. Кластеры разных цветов объединяют взаимосвязанные технологии, продукты / услуги.

Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA

Активно развиваются и такие «сквозные» направления как 3D-моделирование, интернет вещей, системы передачи и хранения данных. Наряду с программным компонентом для совершенствования систем на основе искусственного интеллекта важную роль играют современные вычислительные мощности, позволяющие обрабатывать значительные объемы информации за единицу времени. Крупным кластером является когнитивная робототехника, которая все более широко применяется в медицинских организациях, в том числе благодаря достижениям в области нейробиологии, созданию аппаратно-программных комплексов для искусственного интеллекта и сетей 5G, позволяющих предоставлять новые виды удаленных медицинских услуг. Рост рынка сервисных роботов опережает сегмент промышленной робототехники [417]. Наибольший интерес к цифровым технологиям отмечается в здравоохранении, городском хозяйстве, энергетике.

Рисунок 141. Глобальная повестка в области цифровых технологий на основе патентов



Примечание: Каждый круговой значок на карте – отдельная технология или продукт / услуга. Связь технологий, продуктов / услуг отражена с помощью линий. Кластеры разных цветов объединяют взаимосвязанные технологии, продукты / услуги.

Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA

В региональном разрезе представленные тренды на основе публикационной и патентной активности могут варьировать, тем не менее ключевые ориентиры развития в России и за рубежом схожи. Эти различия, а также особенности национальных экономик оказывают влияние на формирование ожидаемых перечней технологических решений, продуктов и услуг и, в конечном счете, на реализацию рыночного потенциала отдельной технологии.

6.2.2. Ожидаемые технологии, продукты и услуги для реализации приоритета научно-технологического развития

Возможности построения цифровой экономики в России в значительной мере зависят от трансформации традиционных отраслей, повышения эффективности производственных процессов и уровня технологичности выпускаемой продукции. Ключевая роль при этом отводится передовым цифровым и интеллектуальным производственным технологиям. Для проведения интеллектуального анализа больших данных использованы наиболее высокоцитируемые статьи в ведущих мировых научных журналах за период 2007–2018 г. и патенты, выданные по системе PCT (Patent Cooperation Treaty – Договор о патентной кооперации) [418], за аналогичный период с учетом уровней их научной и технологической значимости.

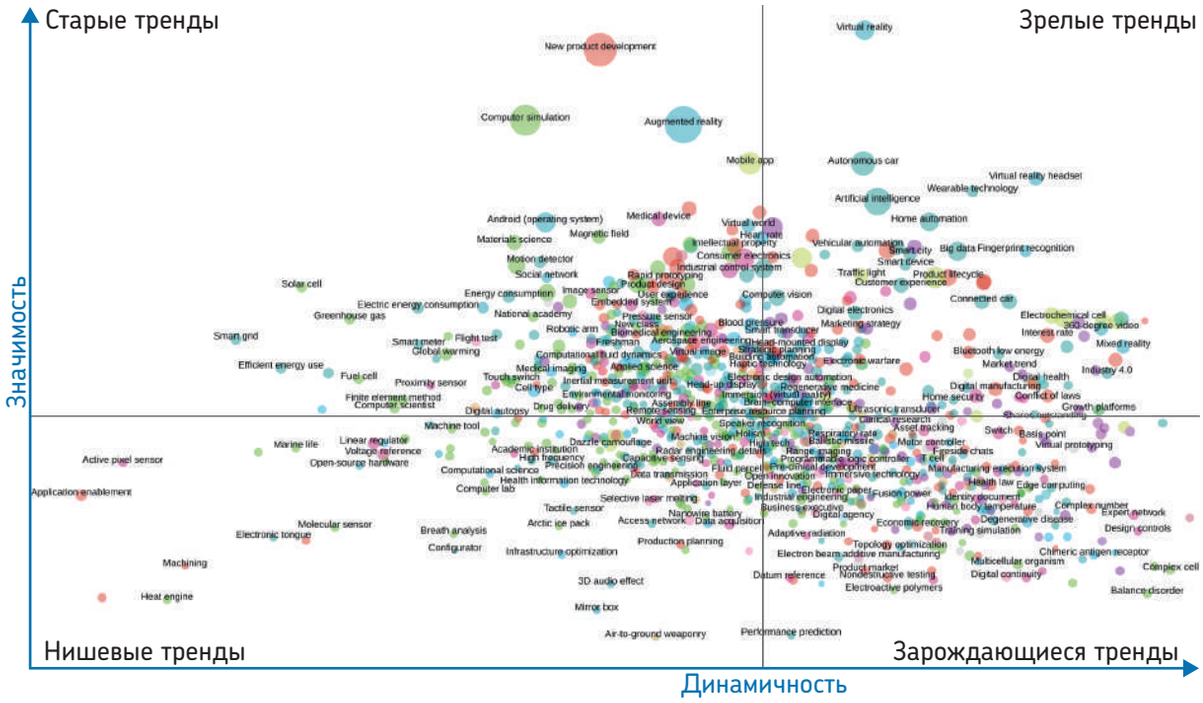
В российской научно-технологической повестке преобладают продукты и сервисы, связанные с компьютерным моделированием, инструментами разработки новых продуктов, виртуальной и дополненной реальностью, аддитивным производством, искусственным интеллектом и системами на его основе (беспилотный транспорт), а также решениями для медицины. Выявленные кластеры продуктов соответствуют задачам технологического развития отраслей промышленности, связанным с переводом в цифровую форму всех процессов моделирования и проектирования изделий, управлением продуктом на всех стадиях жизненного цикла, созданием «цифровых двойников». Большинство предприятий в качестве приоритетной задачи рассматривает интеграцию решений в единую цифровую среду, обеспечивающую совместимость всех ее элементов.

Рисунок 142. Семантическая карта по направлению «передовые цифровые и интеллектуальные производственные технологии» на основе патентов

Примечание: Каждый круговой значок на карте – отдельная технология или продукт / услуга. Связь технологий, продуктов / услуг отражена с помощью линий. Кластеры разных цветов объединяют взаимосвязанные технологии, продукты / услуги.

Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA

Рисунок 143. Тренд-карта по направлению «передовые цифровые и интеллектуальные производственные технологии» на основе патентов



Примечание: Каждый круговой значок на карте – отдельная технология или продукт / услуга. Связь технологий, продуктов / услуг отражена с помощью линий. Кластеры разных цветов объединяют взаимосвязанные технологии, продукты / услуги.

Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA

К числу зарождающихся направлений относятся граничные вычисления. Их отличительной особенностью является децентрализованная обработка информации в местах ее генерации, что позволяет оптимизировать ресурсы при многократном росте цифровых устройств и порождаемых ими данных [419].

Все более востребованными становятся технологии виртуального прототипирования на этапе моделирования и их интеграция с концепцией «цифрового двойника» на стадиях тестирования, производства и использования [420]. Такое сочетание обеспечивает единое цифровое пространство на всех этапах жизненного цикла продукции. Более устоявшимися являются технологические тренды, связанные со смешанной и виртуальной реальностями, концепцией Индустрии 4.0, системами моделирования, встроенными системами (квадранты зрелых и старых трендов). Несмотря на длительное присутствие в корпоративной и государственной повестке, их широкое внедрение, в том числе малыми и средними предприятиями, остается актуальной задачей цифровой трансформации российской промышленности.

На текущий момент более узкий, нишевый характер носят решения в области искусственного интеллекта, вместе с тем потенциал их применения широк – от сельского хозяйства (мониторинг сельскохозяйственных культур) до здравоохранения (поиск патологий по снимкам). Значительная часть технологий нишевого характера развивается на стыке нескольких направлений и по мере реализации проектов цифровой трансформации бизнеса постепенно перейдет в статус зрелых. Это связано отчасти со спецификой отдельных секторов экономики и ориентацией на кастомизированные решения, разработанные в случае крупных компаний своими силами, либо с привлечением внешних поставщиков.

Анализ российской повестки показывает преобладание физической (аппаратной) части среди наиболее актуальных направлений, что совпадает с задачами технологической модернизации и обновления основных фондов в большинстве промышленных секторов. Постепенно расширяется использование цифровых решений и перевод физических активов в цифровую среду. Значительная часть выявленных перспективных технологий и продуктов / услуг носит «сквозной» характер и находит применение в различных отраслях. В средне- и долгосрочном периоде к числу перспективных относятся новое поколение сенсоров, мобильные робототехнические комплексы, системы туманных и росистых вычислений, нейроморфное оборудование, 4D-печать.

1) Новое поколение сенсоров, включая интеллектуальные, биосенсоры, квантовые и др.

Помимо уже известных и активно применяемых датчиков происходит развитие целого комплекса сенсоров нового типа с расширенными возможностями. Интеллектуальные системы на основе сенсоров уже широко применяются в промышленной и транспортной сферах, городской среде. Одна из перспективных сфер для нового поколения сенсоров – медицина. Так, представляет интерес применение графена, который позволяет улучшить функциональные возможности биосенсоров за счет поверхностных характеристик и хорошей проводимости. Такие датчики позволяют проводить диагностику и измерять уровень глюкозы, холестерина, гемоглобина. Свойства графена также могут улучшить работу электрохимических биосенсоров [421]. В здравоохранении высокий потенциал применения также имеют квантовые сенсоры.

Визуализация мозговой активности на основе квантовых сенсоров с целью раннего выявления болезни Альцгеймера [422, 423]

В Центре здоровья мозга человека Бирмингемского университета (Centre for Human Brain Health, University of Birmingham) разработано устройство магнитоэнцефалографии (МЭГ) для раннего диагностирования болезни Альцгеймера, основанное на использовании квантовых сенсоров. Преимущества системы по сравнению со стандартной системой МЭГ на сверхпроводящих датчиках связаны с более высокой чувствительностью, меньшими затратами на установку и эксплуатацию прибора, который может быть размещен непосредственно на коже головы человека, что повышает точность обнаружения сигнала.

По некоторым оценкам, задержка в распространении болезни всего на 1 год может сократить общее число пациентов с болезнью Альцгеймера более чем на 9 млн к 2050 году. При этом новая система МЭГ может использоваться для диагностирования других состояний мозга (например, синдрома дефицита внимания с гиперактивностью).

Разрабатываемое решение является частью проекта долгосрочной исследовательской инициативы Европейского Союза «Лидерство в области квантовых технологий» (Quantum Technologies Flagship). Исследования Центра реализуются в рамках хаба квантовых технологий Великобритании (The UK Quantum Technology Hub), объединяющего ведущих ученых страны по разработке прорывных решений.

В России основным драйвером развития рынка сенсоров являются автоматизация производственных процессов и модернизация городского хозяйства. При этом имеются собственные разработки мирового уровня, например, технология 3D-сенсоров протечек воды и углеводородов для предотвращения аварий на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) и объектах промышленности [424].

Сдерживающими факторами развития сенсоров в России наряду с недостатком зрелых решений является технологическая неготовность систем, высокая стоимость технологий, нехватка конкретных кейсов использования.

2) Мобильные робототехнические комплексы

Робототехнические комплексы используются как для выполнения производственных и логистических задач, так и для обслуживания различных сфер деятельности человека. Все большую популярность получает новый класс мобильных роботов. Их ключевые отличия заключаются в более высокой гибкости и адаптивности, возможности автономного функционирования (без сопровождения человека) и реагирования на изменения окружающей среды [425].

Одной из быстрорастущих сфер является медицина, где роботы начинают использоваться для выполнения все большего числа операций. По оценкам компании ABB, рынок нехирургических роботов к 2025 г. вырастет в четыре раза. Для ответа на возникающий спрос компания в 2019 г. создала международный центр для проведения совместных исследований в Техасском медицинском центре. Мобильный и автономный робот YuMi предназначен для выполнения целого ряда лабораторных и логистических задач, в том числе подготовки лекарств, загрузки и разгрузки центрифуг, дозирования веществ и др. Система навигации обеспечивает высокую точность выполнения задач, нахождение оптимальных путей передвижения и работы рядом с человеком. Это позволяет высвободить время сотрудников лаборатории для более сложных и творческих задач [425]. Продолжаются исследования, направленные на улучшение функций ориентирования роботов в закрытых помещениях и на открытых территориях.

Система навигации для мобильных роботов, основанная на глубоком обучении [427]

В Университете Калифорнии в Беркли ведутся работы по созданию автономно перемещающегося наземного робота BADGR (Berkeley Autonomous Driving Ground Robot), направленные на поиск более точных систем навигации роботов в открытом пространстве. Разработанная для этого система обучается без участия человека на основе данных, собираемых из окружающей среды, что позволяет разрабатывать оптимальные маршруты и уклоняться от препятствий. BADGR осуществляет сбор и разметку данных, тренирует предиктивную модель нейронной сети и далее использует ее для планирования и следования по траекториям, учитывая прежний опыт.

Возможности системы тестировались как в условиях городской, так и сельской местности. Предварительные результаты экспериментов показывают, что система превосходит технологию SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), широко применяемую для географической ориентации, и способна накапливать знания. Тем не менее, остается ряд нерешенных задач (необходимость сопровождения системы со стороны человека, объемы данных и др.). Проект поддерживается государственными организациями США, в том числе Национальным научным фондом (the National Science Foundation, NSF), Управлением перспективных исследовательских проектов (the Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) и рядом других.

Развитию мобильных роботов в России способствуют имеющиеся заделы в этом направлении. Решение задач оптимизации производства, снижения операционных рисков, обеспечения безопасности здоровья персонала требует более эффективных систем в промышленности. Наряду с этим существуют и ограничения, связанные с нехваткой стандартов, которые бы фиксировали границы ответственности, действий робота [428]. Не обеспечена на должном уровне безопасность данных, обрабатываемых робототехническими системами. Существуют значительные риски взлома третьими лицами и получения ими доступа к коммерческой или персональной информации.

3) Системы туманных, росистых и граничных вычислений

Возникновение наряду с облачными технологиями концепции граничных и связанных с ними туманных и росистых вычислений вызвано необходимостью управления большим объемом данных, поступающих с устройств интернета вещей. Каждое из направлений обладает своими особенностями.

Модель туманных вычислений направлена на упрощение построения распределенной инфраструктуры обработки данных и предоставления услуг с минимальной задержкой, позволяя свести к минимуму время отклика на запрос от конечных устройств. Для этого требуется обеспечить необходимые вычислительные ресурсы для обработки данных. Туманные вычисления характеризуются более высоким уровнем безопасности и конфиденциальности информации для конечных пользователей в сравнении с облачными сервисами. Они позволяют обрабатывать большую часть данных непосредственно рядом с источником их генерации в режиме реального времени без их отправки в облачный сервис. Такая архитектура востребована при функционировании интеллектуальных систем и сетей [429]. Построение сети росистых вычислений обеспечивает обработку информации независимо от облачных сервисов, дополняя их функциональные возможности.

Перспективной представляется концепция граничных вычислений (edge computing) [430]. Эти технологии позволяют обрабатывать данные на тех устройствах, которые их генерируют. Преимущество технологии заключается в возможности принятия решения без ожидания отклика от системы. В Китае граничные вычисления рассматриваются как основной элемент технологической среды инфраструктуры 5G. Это обеспечивает основу для интернета вещей, «умных заводов», «умных сетей», автономного вождения и др. [431, 432]. Среди недавних проектов – площадка для тестирования автономных транспортных средств компании Baidu в крупнейшем китайском городе Чунцин. Благодаря построенной инфраструктуре граничных вычислений на открытом пространстве площадью в 20 квадратных метров планируется проводить спонтанные тест-драйвы более 100 автомобилей с четвертым уровнем[32] автономности [433].

В мире подобные проекты реализуются в рамках международных научно-промышленных проектов, обеспечивающих внедрение и апробацию наиболее передовых решений.

Исследовательский хаб в области граничных вычислений [434, 435]

В Северной Ирландии ведутся работы по развитию автономных и надежных сетей для анализа данных и созданию хаба граничных вычислений в рамках сотрудничества между японским оператором связи Rakuten Mobile и Королевским университетом Белфаста. Цель проекта – снижение задержки при обработке информации в облаке. В результате реализации проекта многие сервисы и приложения на основе цифровых технологий (искусственный интеллект, интернет вещей, 5G) станут более доступны пользователям и позволят снизить нагрузку на телекоммуникационные сети.

Одной из задач проекта также является эффективное управление приложениями и мониторинг инфраструктуры для бесшовной адаптации систем к новым условиям. Ограничением на пути широкого использования сетей остается отсутствие стандартов, низкое число реализованных кейсов.

Японская корпорация Rakuten – глобальный игрок на рынке электронной торговли, финансовых технологий, телекоммуникационных и медиа-услуг. Компания также занимается соз-

32 Согласно принятой на международном уровне классификации, разработанной организацией SAE International, четвертый уровень предполагает автономное передвижение транспортного средства, при котором в некоторых случаях требуется участие человека. Подробнее см.: [432].

данием архитектуры виртуализированных сетей 5G с высоким уровнем автоматизации сетевых функций, что позволяет предоставлять новые сервисы для пользователей.

В России рост рынка граничных вычислений сдерживается прежде всего отсутствием стандартов использования новых решений и нехваткой специалистов. Вместе с тем данная концепция представляется востребованной, в том числе в связи с построением узкополосных сетей интернета вещей в секторах экономики. Возможность моментального отклика без ожидания ответа системы важна для многих задач в транспортном комплексе, промышленности и иных сферах.

4) Нейроморфное оборудование

Нейроморфные вычисления – одна из прорывных современных концепций совершенствования вычислительных мощностей наряду с квантовым компьютером, в основе которой лежат новые принципы функционирования физических устройств. Нейроморфное оборудование представляет совокупность систем, созданных на основе искусственных нейронных сетей, имитирующих структуру и функции человеческого мозга. Появление нейроморфных программно-аппаратных комплексов позволяет перейти к решению нового круга задач благодаря высокой скорости обработки сложной информации, меньшего потребления энергии в сравнении с традиционными процессорами и большего объема памяти [436].

Разработки в данном направлении носят мультидисциплинарный характер и ведутся крупнейшими корпорациями в области компьютерного оборудования, а также исследовательскими группами Массачусетского технологического института, Университета Стэнфорда и ряда других. В Европейском Союзе реализуется масштабный проект по изучению человеческого мозга (The Human Brain Project), охватывающий смежные задачи по совершенствованию медицины и информационных технологий. В рамках одного коллектива собраны нейробиологи, специалисты по робототехнике и компьютерным наукам. Инициатива является одной из крупнейших за всю историю исследований ЕС и стартовала еще в 2013 году с бюджетом более 3 млрд евро [437].

Нейроморфная самообучающаяся система [438]

Компания Intel в середине 2019 г. представила Pohoiki Springs – нейроморфную систему, объем памяти которой вмещает пять стандартных серверов. Система сопоставима с нейронной сетью мозга небольшого млекопитающего, включает 768 чипов Loihi, 100 млн нейронов и работает при мощности менее 500 Вт. Она может обучить модели искусственного интеллекта различать более 10 различных видов запахов опасных материалов и веществ.

В основе Pohoiki Springs лежит нейроморфный программно-аппаратный комплекс Loihi, который обрабатывает информацию в тысячу раз быстрее и в 10 тысяч раз эффективнее традиционных процессоров, может решать различные оптимизационные задачи в три раза быстрее и с меньшими затратами энергоресурсов. При масштабировании в 50 раз Loihi использует только на 30% больше мощности и потребляет примерно в 100 раз меньше энергии, чем иные широко используемые устройства. Традиционному оборудованию понадобится на 500% больше мощности.

Разработка доступна не только самой компании, но и участникам сообщества нейроморфных исследований Intel. Система Pohoiki Springs служит инструментом для изучения нейронных алгоритмов обработки данных в режиме онлайн, поиска решений, адаптации и обучения. Исследователи планируют использовать ее для разработки суперкомпьютера более мощного, чем любой ныне действующий. В эту работу вовлечены Intel, IBM, Hewlett-Packard, Массачусетский технологический институт, университеты Пердью и Стэнфордский.

В России также ведутся работы по созданию нейроморфных программно-аппаратных комплексов. В рамках сотрудничества компании из Новосибирска «Мотив» и «Лаборатории Касперского» планируется создать нейроморфный процессор «Алтай» для систем на основе ИИ, в том числе технического зрения и распознавания речи. Новый процессор, как и зарубежные разработки, характеризуется более низким энергопотреблением, более высокой производительностью и небольшим размером. Помимо этого, в нем заложена функция обучения в процессе работы [439, 440].

Ключевые факторы расширения рынка нейроморфного оборудования в России тесно связаны с развитием технологий искусственного интеллекта и ростом спроса на них. Среди основных ограничений – недостаточное количество исследований, низкий уровень инвестирования в проекты, а также сложность проектирования специальных микросхем и самих алгоритмов.

5) 4D-печать

4D-печать является продолжением развития концепции 3D-технологий. В ее основе лежит возможность изготовления на основе цифровых двойников трехмерных объектов, которые меняют форму и цвет под воздействием внешних факторов. Создание технологий требует сложного программного обеспечения и методов моделирования новых материалов [441].

В перспективе ключевыми секторами-потребителями технологии могут стать автомобилестроение, авиакосмическая промышленность, текстильная отрасль и иные обрабатывающие производства, а также строительство, здравоохранение. Основные факторы развития – растущий спрос на приложения на основе технологий 3D-печати, кастомизация продуктов, увеличение инвестиций в исследования. Значимое влияние оказывает растущее внимание общества к вопросам устойчивого развития, при котором предпочтение отдается материалам многоразового использования, соответствующим экологическим стандартам.

В настоящее время большая часть проектов в области 4D-печати реализуется в рамках научно-исследовательских организаций. В частности, работы по данному направлению проводит Гарвардский, Ратгерский университеты и др. [441, 442]

В рамках сотрудничества между Сингапурским университетом технологий и дизайна и Наньянским технологическим университетом разработан материал с использованием технологий 3D-печати, меняющий свою форму и возвращающийся в исходное состояние без электрического воздействия. Исследователи создали материалы VeroWhitePlus и TangoBlackPlus, способные сохранять значительную механическую прочность до и после изменения формы. Проведение подобных исследований позволяет продвинуться дальше в разработке сложных структур, которые не могут быть созданы традиционным способом производства [441].

Основными препятствиями развития в России могут стать высокие расходы на разработку передовых материалов, а также вопросы защиты результатов интеллектуальной деятельности.

Многие из рассмотренных примеров находятся на стадии прикладных исследований с перспективой коммерциализации в средне- и долгосрочном периоде. Тем не менее, интерес корпоративного сектора к новым решениям значителен и зачастую выходит за традиционные сферы деятельности компаний. Российские организации также вовлечены в мировую исследовательскую повестку. Для создания и дальнейшего развития отечественных заделов необходимо интенсифицировать усилия на уровне фундаментальных, прикладных исследований и разработок.

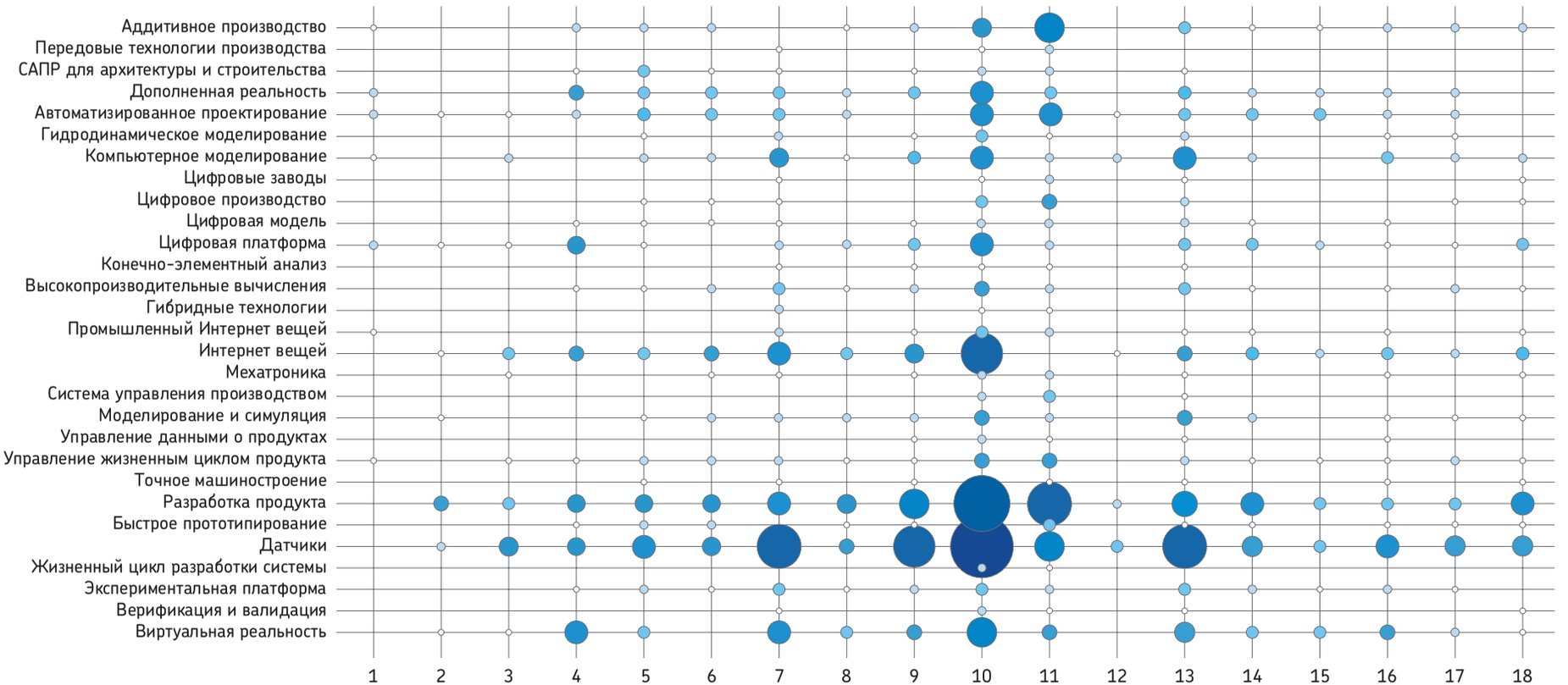
6.3. Цифровизация отдельных секторов экономики

Наряду с созданием технологических решений важно обеспечить их широкое проникновение в различные сектора экономики. Для этого одной из предпосылок является наличие успешных практик и кейсов, позволяющих оценить особенности использования технологий и достигнутые результаты. Это позволяет компаниям в условиях ограниченных ресурсов сосредоточить усилия на наиболее приоритетных цифровых инструментах. Компании в условиях изменений склонны направлять ресурсы на разработки, уже положительно себя зарекомендовавшие и те, которые могут быть адаптированы под большое число практических задач.

Передовые цифровые и интеллектуальные производственные технологии в различной степени используются в большинстве видов деятельности. К ним относятся аддитивные технологии, системы проектирования и моделирования, управления жизненным циклом продукции, высокопроизводительные вычисления, различные датчики и в целом архитектура интернета вещей, дополненная и виртуальная реальности, цифровые платформы, мехатроника и робототехника. Лидирующее место в отраслевом разрезе принадлежит деятельности в области информации и связи, предприятия в которой выступают поставщиками технологических решений для других видов деятельности. Наибольшие экономические эффекты следует ожидать в секторах-пользователях этих решений. Согласно оценкам НИУ ВШЭ, к 2030 году рост ВВП будет более чем наполовину связан с цифровизацией. Ожидается, что наибольший эффект может быть достигнут в наукоемких сегментах сферы услуг и высокотехнологичных отраслях промышленности [443].

На текущий момент продукты и сервисы на основе передовых цифровых и интеллектуальных производственных технологий используются в обрабатывающей промышленности, электроэнергетике, строительстве, сельском хозяйстве, секторе транспортных услуг. Проникновение цифровых решений все более заметно в социальной сфере – здравоохранении и образовании, что связано, среди прочего, с реализацией мероприятий национальных проектов, направленных на цифровизацию. В России растет число успешных практик внедрения цифровых решений, которые могут быть масштабированы в различных регионах и отраслях. Однако применение какого-либо одного решения имеет ограниченные эффекты. Масштабная цифровизация требует технологической перестройки всех производственных и бизнес-процессов.

Рисунок 144. Матрица секторов экономики и продуктов и сервисов по направлению «передовые цифровые и интеллектуальные производственные технологии»



1 – Гостиницы и предприятия общественного питания
2 – Административная деятельность и сопутствующие дополнительные услуги
3 – Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство
4 – Культура, спорт, организация досуга и развлечений
5 – Строительство
6 – Образование
7 – Электроснабжение, подача газа, пара и воздушное кондиционирование
8 – Финансовая и страховая деятельность
9 – Здравоохранение и социальные услуги
10 – Информация и связь
11 – Обрабатывающая промышленность
12 – Добыча полезных ископаемых
13 – Профессиональная, научная и техническая деятельность
14 – Государственное управление и оборона; обязательное социальное обеспечение
15 – Операции с недвижимым имуществом
16 – Транспортировка и хранение
17 – Водоснабжение, водоотведение, сбор и утилизация отходов, деятельность по ликвидации загрязнений
18 – Оптовая и розничная торговля; ремонт моторных транспортных средств и мотоциклов

Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ)

Электроэнергетика

Цифровые решения в электроэнергетике способствуют интеграции основных этапов цепочки стоимости: генерации, передачи, распределения и потребления. Данные в цифровом виде и предиктивная аналитика позволяют сократить расходы за счет снижения объемов потребления, уменьшить незапланированные отключения и простои, увеличить срок эксплуатации основных фондов. Цифровизация позволяет существенно модернизировать инфраструктуру и решить одну из важнейших задач – снижения потерь электроэнергии в сетях.

Одновременно с этим заметен тренд на децентрализацию: потребители могут управлять процессами потребления электроэнергии в режиме реального времени. Развитие распределенной энергетики и повышение доступности различных форм хранения электроэнергии реализуется в рамках концепции Интернета энергии. Это подразумевает объединение в рамках единой технологической системы производителей и потребителей для обмена энергоресурсами [444]. Благодаря масштабу сектора и сложности технологических процессов электроэнергетика адаптирует значительное число передовых решений.

Робот LineScout компании Hydro Quebec для контроля высоковольтных линий электропередач, Канада [445]

Компании энергетической отрасли все чаще применяют робототехнику для обследования труднодоступных и сложных мест на объектах энергетической инфраструктуры. Канадская государственная компания Hydro-Quebec с 2010 г. для проверки линий электропередач (ЛЭП) в режиме реального времени использует специального робота LineScout для обслуживания линий, находящихся под напряжением. К числу выполняемых задач относится проверка состояния соединений путем измерения их электрического сопротивления, затягивания и ослабления болтовых соединений, временное восстановление поврежденных частей проводника и др. Для этого робот преодолевает различные препятствия (стыки, компоненты оборудования и др.) вдоль ЛЭП. Детальные и точные проверки ЛЭП проводятся дистанционно, что позволяет освободить технических специалистов от части опасных работ. Основной результат – снижение случаев выхода из строя оборудования и последующего дорогостоящего ремонта.

Разработка получила широкое распространение не только в Канаде, но и в других странах. Робот LineScout используется британской транснациональной электроэнергетической и газовой компанией National Grid в рамках лицензионного соглашения.

В масштабах России подобные робототехнические комплексы для мониторинга состояния ЛЭП также находят применение на все большем числе объектов. В рамках НТИ «Энерджинет» реализуется проект «Канатоход» по разработке беспилотной транспортной платформы для диагностики и технического обслуживания ЛЭП на основе экспертной системы [446]. Это позволяет снизить затраты на ремонт благодаря точечной диагностике и обслуживанию отдельных участков линий электропередач. В целом участники отрасли реализуют масштабные проекты, направленные на «сквозную» цифровизацию всего сетевого комплекса.

Сетевая компания АО «Янтарьэнерго» успешно завершила проект по построению цифровой РЭС (района электрических сети) в рамках НТИ Энерджинет. Основная задача – снижение потерь электроэнергии при ее передаче с помощью цифровых технологий. Проект стартовал в 2016 г. и направлен на построение распределенной энергетической сети. Для этого произведена модернизация устройств и их интеграция в единую сеть. Создана комплексная система мониторинга потребления электроэнергии, которая базируется на интеллектуальных приборах учета, позволяющих осуществлять сбор, обработку, хранение информации [447].

Система распределенной автоматизации сетей реализована в двух пилотных районах Калининградской области, уже применяется в ряде российских регионов и планируется к тиражированию в остальных. Основное преимущество системы – возможность мониторинга и управления сетью, в том числе с помощью искусственного интеллекта. Кроме того, внедрение «умных» решений повышает адаптивность сетей, позволяет оптимизировать процесс передачи, снизить операционные издержки, повысить вовлеченность потребителей в процессы производства, потребления и хранения энергии [448].

В электроэнергетике востребованы комплексные решения, формирующие единую цифровую среду между всеми участниками, в том числе потребителями.

Обрабатывающая промышленность

Обрабатывающая промышленность остается крупнейшим потребителем новых технологий из различных сфер. Трансформация происходит в различных сегментах и прежде всего в машиностроении, являющимся ядром промышленного производства. При этом в каждом из сегментов наблюдаются свои тенденции.

Заметен рост интереса бизнеса к технологиям виртуальной и дополненной реальности. В автомобилестроении ведущие компании уже на протяжении ряда лет используют подобные инструменты. В компании Ford с 2014 г. любые изменения конструкции автомобиля тестируются с помощью инструмента иммерсивной среды Ford Immersive Vehicle Environment (FIVE) [449]. Лаборатория прототипирования виртуальной реальности позволяет инженерам и проектировщикам взаимодействовать с 3D-моделями автомобилей еще до создания физического прототипа, обеспечивая возможность физического представления элементов автомобиля и конструкции с помощью виртуальной копии. С помощью FIVE проверено более 135 тыс. деталей на 193 виртуальных прототипах автомобилей. По итогам тестов улучшен дизайн и функциональность элементов автомобиля.

По-новому взглянуть на процессы эксплуатации железнодорожного состава позволяет виртуализация в транспортном машиностроении.

Виртуальный поезд и цифровые двойники компании, Франция [450, 451]

В компании Alstom – одном из мировых лидеров транспортного машиностроения – разработана система на основе виртуальной и дополненной реальности. Виртуальный поезд в точности представляет имитационную копию всего объекта, построение которого осуществляется с помощью загрузки моделей CAD, калибровки в физической среде или отображения смоделированных данных реального объекта в среде дополненной реальности. Решение используется как на стадии проектирования, так и в процессе производства.

В результате пилотного запуска системы время на обработку ситуаций, приводящих к сбоям, сократилось на треть. Создание виртуальной копии поезда позволяет операторам в режиме реального времени изменять параметры, моделировать различные сценарии с помощью 3D-визуализации, анализировать его перемещения и, тем самым, снижать возможность возникновения «узких» мест. Система ускоряет процесс обмена данными и интерпретацию тестов операторами, которые валидируют сценарии в момент поступления информации.

Виртуальная и дополненная реальности тесно связаны с цифровым двойником объекта на различных стадиях жизненного цикла. В период эксплуатации подвижного состава сочетание цифровой модели и виртуализация помогают решить ряд задач по управлению техникой. На участке железнодорожной сети в Великобритании реализован проект по внедрению системы планирования и реализации технического обслуживания парка поездов. Она позволяет оптимизировать затраты компании-оператора перевозок, отслеживать состояние

парка оборудования, сохранять информацию об уже проведенных ремонтах. Система является гибкой и может быть скорректирована под новые условия (расписание, непредвиденные ситуации и др.). В контур анализа входит вся инфраструктура, в результате чего появляется возможность оценить текущую ситуацию и представить альтернативные сценарии использования оборудования.

В России модернизация промышленности и повышение производительности труда – одна из ключевых задач. Стратегии российских промышленных компаний все более направлены на горизонтальную цифровизацию и использование широкого перечня цифровых технологий, не ограниченных традиционными системами управления производством. Опыт лидеров позволяет постепенно тиражировать лучшие практики, адаптируя их под требования других сегментов и проектов.

Ведущие российские автомобилестроители также используют цифровые двойники для проведения виртуальных испытаний и тестов. Помимо обучения сотрудников, инструменты виртуальной и дополненной реальности имеют потенциал для решения задач технического обслуживания и ремонта промышленной техники на различных этапах жизненного цикла продукции.

В 2019 г. Центр инновационного развития холдинга «Синара-Транспортные машины» запустил приложение виртуального прототипирования для анализа конструкции, эргономичности операций обслуживания и ремонта локомотивов на основе виртуальной реальности. Приложение используется при разработке различных типов локомотивов. Технологии позволяют усовершенствовать процесс технического обслуживания, а также улучшить функциональные характеристики подвижного состава. Чтобы работать с системой сотрудники проходят обучение. Планируется масштабировать решение в производственных подразделениях и на всех предприятиях холдинга [452].

Наряду с этим для мониторинга состояния уже произведенных локомотивов создано несколько специальных центров. В них в режиме реального времени поступает информация обо всех объектах, где обрабатывается с помощью системы предиктивной диагностики. На основе анализа полученных данных сотрудники разрабатывают рекомендации по техническому обслуживанию и ремонту локомотивов. В результате становится возможным выявить неисправности и нарушения в ходе эксплуатации подвижного состава, улучшить процесс ремонта, а также снизить время простоя. Аккумулирование таких данных также помогает совершенствовать саму конструкцию объекта. Системное взаимодействие производителя оборудования и компании-эксплуатанта необходимо для совершенствования подходов к разработке, использованию и управлению объектом [453].

В процессе цифровой трансформации российские компании все более активно переходят от пилотных проектов к «сквозной» цифровизации, используя весь арсенал цифровых технологий на всех стадиях жизненного цикла, активно тестируются новые решения в области виртуальной и дополненной реальности, моделирования, искусственного интеллекта. Для окончательного перехода на новую технологическую основу важным фактором является наличие регуляторных условий и стандартов.

Строительный комплекс

Строительный комплекс отличается консервативностью, значительным числом технических и законодательных требований, а также сложной системой взаимодействия между участниками. В этой связи темп проникновения цифровых технологий ниже в сравнении с иными отраслями. Современным технологическим ядром строительного комплекса являются технологии информационного моделирования (Building Information Model, BIM) в деятельности проектирующих и строительных организаций на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строи-

тельства. Их развитие и интеграция с иными цифровыми решениями становится центральным трендом.

Решение batiRIM для ликвидации строительных объектов с использованием методов цифрового моделирования, Франция [454, 455]

Разработанные ведущей французской компанией SUEZ в сотрудничестве с компанией Resolving инструменты цифрового проектирования batiRIM позволяют оптимизировать работы по сносу зданий. Система квалифицирует и отображает потоки объектов и материалов зданий, подлежащих реновации, реконструкции или слому, и оценивает потенциал их дальнейшей эксплуатации и утилизации еще до начала работ. Различные элементы (например, окна, дверные ручки и др.) могут повторно использоваться в новых строительных проектах.

Решение batiRIM объединяет инструменты моделирования информации о ресурсах и платформу для совместной работы, что способствует оптимизации процессов управления объектами капитального строительства на заключительной стадии жизненного цикла. Использование подобных технологий также решает проблему безопасности на строительных площадках благодаря точному картографированию, выполненному на подготовительном этапе, и идентификации всех потоков материалов.

Появление такого решения отвечает требованиям Европейского союза по обязательной переработке строительных отходов. Во многих европейских странах все более широко реализуется концепция экономики замкнутого цикла.

Технологии информационного моделирования внедряются и в деятельность российских организаций: крупнейшие проектирующие и строительные компании уже применяют инструменты BIM в своей деятельности. Целый ряд проектов направлен на комплексное внедрение информационного моделирования для создания жилых, промышленных объектов и инфраструктурных сооружений. При этом наряду со строительными компаниями интерес к технологии проявляют отрасли, связанные с возведением объектов строительства, включая нефтегазовую промышленность (проектирование месторождений, нефтеперерабатывающих мощностей и др.), транспортный сектор (реконструкция вокзалов, строительство высокоскоростных магистралей и др.), промышленность.

Системы на основе BIM-технологий являются инструментом повышения качества проектирования, увеличения точности формирования бюджета проекта, интеграции всех процессов в единой цифровой среде.

Дальнейшему внедрению технологий в BIM России будет способствовать реализация ряда государственных инициатив, в т.ч. в строительстве, транспортной отрасли и др. Помимо нового подхода к моделированию и управлению жизненным циклом строительных объектов, формируется единая информационная среда, охватывающая процессы на строительной площадке, эксплуатации здания, утилизации, а также сопутствующие услуги (например, управление земельными отношениями и ряд иных).

Транспортировка и хранение

Цифровая трансформация в транспортной индустрии происходит уже давно, при этом флагманом является авиационный сектор. Активно внедряются технологии интернета вещей в различных сегментах деятельности, в том числе для мониторинга грузового оборудования, отслеживания багажа с помощью RFID-меток, сервисов для экономии расхода топлива, сервисов виртуальной реальности для пассажиров и др. [456] Особое внимание уделяется совместимости систем и их комплексному использованию всеми участниками цепочки стоимости.

Оптимизация дорожного движения с помощью квантовых технологий, Германия-Испания [457]

В 2019 году в рамках сотрудничества с оператором общественного транспорта CARRIS компания Volkswagen запустила первый в мире проект по управлению дорожным движением с использованием квантового компьютера. Для этого автобусы были оснащены системами крупнейшего разработчика квантовых компьютеров D-Wave, которые позволяют вычислять самый быстрый маршрут для отдельного транспортного средства в режиме реального времени и прогнозировать количество пассажиров. В результате удалось оптимизировать транспортный поток и снизить трафик. В качестве пилотного города для тестирования системы был выбран Лиссабон.

На основе инструментов анализа данных и геоинформационных систем формируется статистика потока пассажиров, определяются наиболее загруженные автобусные остановки и выстраивается маршрут движения между ними. Это позволяет оптимизировать городскую транспортную систему и сделать общественный транспорт максимально комфортным. Использование квантовых технологий превосходит возможности имеющихся навигационных систем. Успешная реализация пилотного проекта создает основу для коммерциализации разработки и ее полномасштабного запуска.

В России развитие квантовых коммуникаций и вычислений относится к числу приоритетных высокотехнологичных направлений. Одной из задач развития квантовых коммуникаций является создание магистральной оптоволоконной сети связи на основе квантовых технологий. Системы интеллектуального управления транспортным движением внедряются в различных городах и регионах и направлены на распознавание лиц, создание «умных» светофоров, «умных» парковок и иных элементов транспортного комплекса.

Цифровизация транспортных систем – один из элементов построения концепции «умного» города, которая реализуется в большинстве российских регионов. В частности, в Ростовской области будут создаваться транспортные модели на основе программных средств для имитационного моделирования. Они позволяют прогнозировать пассажирские, грузовые автомобильные потоки, оценивать эффект от реализации моделируемых решений. Система предназначена для иммитации движения каждого транспортного средства внутри дорожной сети, при этом имеется опция анализа пропускной способности и транспортного регулирования на сложных остановках с учетом движения трамваев, автобусов и др. [458]

Для создания транспортных систем все более широко используются технологии искусственного интеллекта. Так, в Тюменской области применяется автоматизированная система диспетчеризации автобусов. Дальнейшее развитие связано с интеграцией различных решений в рамках единой информационной среды для оптимизации транспортных потоков и повышения удобства городской среды в целом [459].

Дальнейшая модернизация транспортной инфраструктуры связана с внедрением прорывных технологий, в частности квантовых.

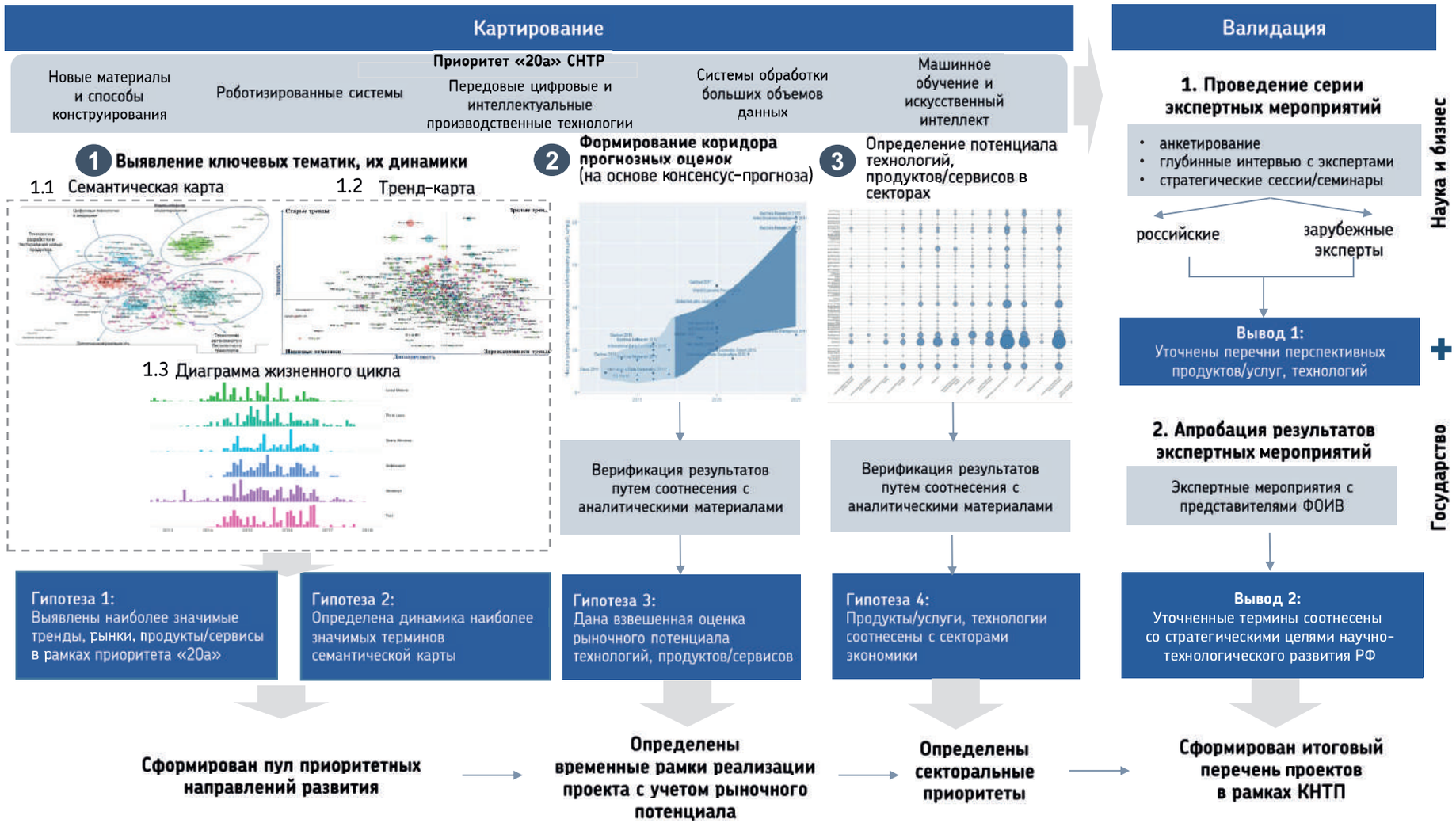
6.4. Направления использования результатов картирования цифрового приоритета научно-технологического развития

При различиях в исходных условиях и отраслевой специфике цифровизации необходимо единое видение реализации технологического потенциала на уровне отдельных компаний, регионов, секторов и экономики в целом. Комплексный подход к системе управления научно-технологическим развитием позволяет сосредоточить усилия на ключевых задачах, одновременно с этим формируя заделы для развития смежных технологических направлений.

Интеллектуальный анализ данных становится эффективным инструментом научно-технологической политики, который должен использоваться в связке с экспертными процедурами. Полученные результаты подлежат валидации ведущими российскими и зарубежными экспертами по рассматриваемым областям. Оценки экспертов позволяют скорректировать и уточнить более «узкие» характеристики технологии или продукта. Всего в российской цифровой повестке выявлено порядка 350 продуктов и сервисов, связанных с реализацией приоритета «20а». Дальнейшая валидация позволила отобрать более 40 перспективных для России продуктов и услуг. Полученные результаты становятся основой для формирования портфеля перспективных исследовательских проектов для поддержки с учетом временных ограничений, рыночного потенциала и имеющихся заделов.

При отборе проектов особое внимание заслуживают технологические решения высокой степени готовности, внедрение которых повышает эффективность деятельности предприятия уже в краткосрочном периоде. Наряду с этим важно обеспечить накопление фундаментальных знаний с отдачей в более отдаленной перспективе.

Рисунок 145. Интеграция результатов интеллектуального анализа данных в комплексную систему управления научно-технологическим развитием Российской Федерации



Источник: ИСИЭЗ НИУ ВШЭ

7. ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРОДУКТОВ И УСЛУГ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ПРИОРИТЕТА 20А СТРАТЕГИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДО 2030 ГОДА

А.И. Боровков, С.В. Салкуцан, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Е.О. Касяненко (СПбПУ)

Для формирования прогноза развития технологий, продуктов и услуг по направлениям Приоритета до 2030 года использовалась следующая методика:

1) анализ тренд-карт продуктов, технологий и услуг, сформированных НИУ ВШЭ;
2) анализ трендов цикла Гартнера на 2018–2019 годы [460, 461];
3) результаты научных изысканий, выполненных участниками рабочей группы проекта, по направлениям «искусственный интеллект» и «машинное обучение», «системы обработки больших данных», «новые материалы и способы конструирования» [462–465];
4) наукометрический анализ, проведенный СПбПУ совместно с Фондом «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»;
5) результаты проектной и оценочной работы, проведенной экспертными группами в рамках проектных сессий и публичных мероприятий.

В ходе формирования прогноза перспективные продукты и технологии ранжировались по четырем группам: устоявшиеся тренды, зрелые тренды, нишевые тренды и зарождающиеся тренды.

- Устоявшиеся тренды – технологии, продукты и услуги, которые уже долгое время находятся на рынке, при этом динамика их роста низкая. Отнесены в прогнозе на период 2019–2020 годов
- Зрелые тренды – значимые направления исследований, которые станут точками роста в ближайшие 1–2 года. Отнесены в прогнозе к 2021–2022 годам.
- Зарождающиеся тренды – технологии, продукты и услуги, которые еще не заняли устойчивое положение на рынке, но активно растут. Отнесены в прогнозе на срок 2023–2026 годов.
- Нишевые тренды – узкие направления, которые в долгосрочном прогнозе могут стать новыми точками роста. Отнесены в прогнозе на 2027–2030 годы.

Рисунок 146. Методика формирования прогноза развития технологий

Источник: Прогноз СПбПУ

Передовые цифровые, производственные технологии

К устоявшимся трендам по направлению можно отнести технологии компьютерного моделирования, датчиков и сенсоров, быстрого прототипирования и дополненной реальности.

К зрелым трендам относятся технологии цифрового производства, больших данных, компьютерное зрение, виртуальная реальность, носимые технологии. Также инициатива «Индустрия 4.0» вошла в перечень зрелых технологий.

Зарождающиеся тренды – цифровой двойник, предиктивная аналитика, аддитивное производство, топологическая оптимизация, виртуальное прототипирование, системы управления производственными процессами [466].

Нишевые и долгосрочные тренды – «умная» пыль, краудсорсинг инноваций для продукта, гибкие производственные линии, 4D-печать, массовая кастомизация продуктов.

Рисунок 147. Прогноз по направлению «передовые цифровые, производственные технологии» на 2019–2030 годы

Источник: Прогноз СПбПУ

В России существуют центры компетенций в сфере передовых цифровых, интеллектуальных производственных технологий: Центр компетенций НТИ по направлению «Новые производственные технологии» (СПбПУ); Центр компетенций по направлению «Технологии создания новых и портативных источников энергии» (ИПХФ РАН); Центр компетенций НТИ по направлению «Технологии сенсорики» (МИЭТ); Центр компетенций НТИ по направлению «Нейро-

технологии, технологии виртуальной и дополненной реальности» (ДВФУ); Центр компетенций НТИ по направлению «Технологии транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем» (МЭИ). Основные научные компетенции сфокусированы в области устоявшихся и зрелых трендов: сенсорика (МИЭТ, Сколтех, МАИ), фотоника (Университет ИТМО, Московский политехнический университет, МГУ, Сколтех и др.), а также есть значимые заделы по направлениям зарождающихся трендов, в том числе технологиям цифровых двойников, топологической оптимизации, виртуального прототипирования и др. (СПбПУ).

Новые материалы и способы конструирования

Рисунок 148. Прогноз по направлению «новые материалы и способы конструирования» на 2019–2030 годы

Источник: Прогноз СПбПУ

К устоявшимся трендам по направлению можно отнести: технологии топливных элементов, композиционных материалов, углеродные нанотрубки, аморфные сплавы.

К зрелым трендам относятся технологии металлических порошков, графен, гибридные материалы, гибкая электроника.

Зарождающиеся тренды – базальтовое волокно, синтактическая пена, метаматериалы, «умные» материалы и аддитивные технологии.

Нишевые и долгосрочные тренды – композитная пленка, биомиметические материалы, электронный текстиль, применение искусственного интеллекта при проектировании материалов,

интерференция тонких пленок, «зеленые» нанотехнологии, неорганические нанотрубки, высокотемпературные композиты.

В России существует большое количество исследовательских команд мирового уровня в сфере новых материалов. Основные научные компетенции сфокусированы в области устоявшихся и зрелых трендов, в том числе по направлению «наноматериалы» (ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН), «углеродные нанотрубки» (ИНХ СО РАН, Сколтех, МГУ, Институт катализа им. С.К. Борескова СО РАН и др.), «компьютерное моделирование свойств и функций материалов» (СПбПУ, Институт теоретической и прикладной химии им. С.А. Христиановича и др.). В то же время активно развиваются и зарождающиеся тренды, например, ГК «Росатом» активно инвестирует в развитие аддитивных технологий [467]. Несмотря на фокусировку на зрелых трендах российские центры научных компетенций в сфере новых материалов играют значимую роль в рамках профильных направлений мировой науки.

Роботизированные системы

Рисунок 149. Прогноз по направлению «роботизированные системы» на 2019–2030 годы

Источник: Прогноз СПбПУ

К устоявшимся трендам по направлению можно отнести: автономные роботы, роботизированные руки, гуманоидные роботы, когнитивную робототехнику.

К зрелым трендам относятся автоматизация транспортных средств[33], «умный» дом, военные роботы, искусственный интеллект в роботизированных системах, глубокое обучение.

Зарождающиеся тренды – облачная робототехника, роботизированная автоматизация процессов, пневматические искусственные мышцы, сельскохозяйственные роботы, композиционные материалы в робототехнике, мобильные промышленные роботы.

Нишевые и долгосрочные тренды – телероботехника, автоматизированные энергосистемы, биморфы, мозговой имплантат, технологии управления роботами, программное обеспечение для роботов, технологии доставки лекарств.

В России существуют центры компетенций в сфере роботизированных систем: Центр технологий компонентов робототехники и мехатроники (Университет Иннополис), Центр компетенций НТИ по направлению «Технологии и сенсорика» (МИЭТ). Основные научные компетенции сфокусированы в сфере устоявшихся и зрелых трендов (преимущественно сенсорика), в то же время ведутся работы в рамках перспективных направлений, в том числе робототехники и мехатроники. Существует ряд перспективных коммерческих разработок в профильной сфере, помимо этого предполагается запуск работы по поддержке цифровизации агропромышленного сектора [469].

Системы обработки больших данных

К устоявшимся трендам по направлению можно отнести: квантовые вычисления, «умные» сети электроснабжения, аналитику текстов, реляционные базы данных, блокчейн.

К зрелым трендам относятся «озера данных», подготовка данных, базы данных в оперативной памяти, глубокое обучение, предиктивная аналитика, машинное обучение.

Зарождающиеся тренды – туманные вычисления, когнитивные расчеты, автоматизированное тестирование (в рамках систем обработки больших данных), эксафлопсные суперкомпьютеры, системы поддержки принятия решений, квантовые машины, визуальная аналитика.

Нишевые и долгосрочные тренды – безопасность баз данных, аппаратная визуализация, общий искусственные интеллект, рынок алгоритмов, встроенная аналитика, мобильные облачные вычисления [470]. В России существуют центры компетенций в сфере системы обработки больших данных: Центр компетенций НТИ по направлению «Квантовые технологии» (МГУ), Центр компетенций НТИ по направлению «Технологии хранения и анализа больших данных» (МГУ), Центр компетенций НТИ по направлению «Технологии распределенных реестров» (СПбГУ), Центр компетенций НТИ по направлению «Квантовые коммуникации» (МИСиС). Большая часть компетенций сфокусирована в сфере устоявшихся и зрелых трендов (высокопроизводительные вычисления, технологии суперкомпьютеров). В 2015 году был создан ФИЦ «Информатика и управление» РАН, который объединил мощности трех институтов РАН в области суперкомпьютеров, высокопроизводительных вычислений и образовательной подготовки [471]. Также ведутся работы и в перспективных направлениях применения высокопроизводительных вычислений. Так, на базе суперкомпьютера МГУ специалисты ЦЭМИ и МГУ осуществили формирование модели социально-экономического развития России, а специалисты РФЯЦ-ВНИИЭФ из Сарова намерены использовать мощность собственного суперкомпьютера для создания «суперкомпьютерных двойников» в машиностроении [472, 473].

33 При этом следует учитывать, что автоматизация авиационных комплексов, по мнению академика РАН С.Ю. Желтова, возможна не ранее 2040 года [468].

Рисунок 150. Прогноз по направлению «системы обработки больших данных» на 2019–2030 годы

Источник: Прогноз СПбПУ

Искусственный интеллект и машинное обучение

К устоявшимся трендам по направлению можно отнести: нейрокомпьютерные интерфейсы, обработку естественного языка, распознавание речи, анализ эмоций и настроения.

К зрелым трендам относятся виртуальные помощники, чатботы, распознавание изображений и видео, генерация естественного языка, глубокие нейросети, технологии онлайн-поиска.

Зарождающиеся тренды – автоматические рассуждения, нейроморфное оборудование, предиктивная аналитика, анализ графов, обучение квантовых машин, когнитивные вычисления, анализ вредоносного программного обеспечения, аффективные вычисления.

Нишевые и долгосрочные тренды – квантовые машины, мягкие вычисления, суперинтеллект, загрузка сознания, роевой интеллект, общий искусственный интеллект, «умная» пыль.

В России существуют центры компетенций в сфере искусственного интеллекта и машинного обучения: Центр компетенций НТИ по направлению «Искусственный интеллект» (МФТИ), Национальный центр когнитивных разработок (Университет ИТМО), Центр компетенций НТИ «Технологии беспроводной связи и «Интернета вещей» (Сколтех). Существует несколько исследовательских команд мирового уровня по направлениям: искусственный

интеллект, машинное обучение, распознавание изображений и видео, Интернет вещей. Значимую роль играют коммерческие проекты в сфере информационных технологий (например, ООО «Яндекс» – поисковые движки, беспилотный транспорт и др.), развитие промышленного интернета вещей (ПАО «Ростелеком») [474, 475]. Большая часть компетенций сфокусирована в сфере устоявшихся и зрелых трендов.

Рисунок 151. Прогноз по направлению «искусственный интеллект и машинное обучение» на 2019-2030 годы

Источник: Прогноз СПбПУ

8. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ КЛЮЧЕВЫХ ПРОФИЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИОРИТЕТА 20А В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.И. Боровков, С.В. Салкуцан, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Е.О. Касяненко (СПбПУ)

8.1. Методика разработки мероприятий поддержки

Согласно типологии, разработанной компанией McKinsey (MGI), существует 4 архетипа отрасн лей по превалирующему типу инноваций [476].

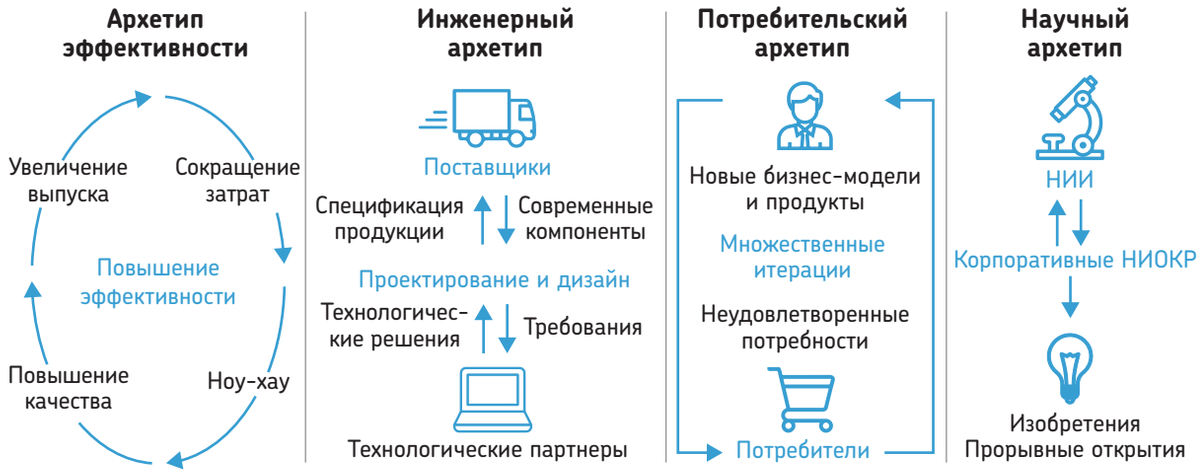
1. Инновации, направленные на рост эффективности и оптимизацию, важны для капиталоемких производств и отраслей: добывающей, нефтегазовой, текстильной, металлургической промышленности, сферы агропромышленного комплекса (АПК). Инвестиции в развитие производства и закупку оборудования в этих отраслях составляют до 30% выручки.

2. Инновации, которые определяются инженерными разработками (интеграцией технологий в рамках цепочек поставок и взаимодействием с партнерами), важны для машиностроения, строительства и электроэнергетики. Доля расходов на инновации составляет от 3 до 10%, важна поддержка с технологиями, знаниями, кадрами и др.

3. Инновации, которые ориентированы на потребителей, – необходимо удовлетворение запросов за счет расширения предложения новых продуктов, услуг и формирования новых бизнес-моделей. Продукты и услуги в этих сферах ориентированы на местные нормативы и стандарты, что делает местные компании более конкурентоспособными в некоторых сферах по сравнению с глобальными конкурентами (от 3 до 7% выручки – расходы на маркетинг).

4. Инновации, основанные на коммерциализации фундаментальных исследований и разработок. Этот вид инноваций востребован такими отраслями, как нефтихимическая и фармацевтическая, которые от 15 до 30% выручки расходуют на НИОКР. До начала коммерциализации этих разработок закладывается срок от 10 до 20 лет. Центральная роль в этом типе инноваций принадлежит университетам и научно-исследовательским институтам, важную роль играет государственное финансирование исследований и защита интеллектуальной собственности.

Рисунок 152. Архетипы отраслей по типологии инноваций



Источник: «Инновации в России – неисчерпаемый источник роста», McKinsey (MGI), 2018 [476]

По мнению аналитиков McKinsey, поддерживать необходимо те сферы, которые имеют конкурентные преимущества на глобальном рынке. Для расчета конкурентоспособности была сформирована матрица отраслей и характерных для них архетипов.

Для расчета доля российских компаний в отрасли соотносится с вкладом России в мировой ВВП отрасли.

По потребительскому типу инноваций Россия имеет повышенный уровень конкурентоспособности в 3 из 9 отраслей: пищевой промышленности, транспорте и банковском секторе.

По архетипу эффективности инноваций – повышенный уровень в 3 отраслях из 6: горнодобывающей, нефтегазовой, металлургической промышленности.

По инженерному архетипу – в 1 отрасли из 3: электроэнергетике.

По научному архетипу – лидерство отсутствует, однако существует запрос на инновации со стороны государства [476].

Рисунок 153. Индекс относительной рыночной доли отраслей (2017 год)

Индекс относительной рыночной доли отраслей рассчитывается как отношение доли российских компаний в отрасли к вкладу России в мировой ВВП: 1 = доля РФ в отрасли равна доле РФ в мировом ВВП

Источник: «Инновации в России – неисчерпаемый источник роста», McKinsey (MGI), 2018 [476]

Отрасли, разделенные на 4 архетипа, могут быть разложены по 4 квадрантам технологических трендов, которые были выделены в ходе исследования. Так, к устоявшимся трендам отнесены отрасли научного архетипа, к зрелым трендам – отрасли архетипа эффективности, к зарождающимся трендам – отрасли инженерного и потребительского архетипов. Для каждого архетипа отраслей, которые сформировали эксперты McKinsey, авторами настоящего экспертно-аналитического доклада были определены специальные направления по мерам поддержки, которые будут наиболее эффективны для каждого конкретного архетипа.

1) Формирование центров компетенций – создание на базе существующих научных и образовательных институтов ведущих центров компетенций, имеющих долгосрочный опыт иссле-

довательской и образовательной деятельности в рамках того или иного направления науки, в том числе:

- развитие научных школ: поддержка сложившихся исследовательских коллективов, в том числе содействие модернизации, закупка нового оборудования, грантовая поддержка наиболее успешных команд, стимулирование научной активности (публикация в рецензируемых журналах, интеллектуальная собственность, участие в международных и российских мероприятиях);

- развитие образовательной подготовки: фокусировка на подготовке исследователей, в том числе привлечение студентов к работе научных коллективов на ранних стадиях, грантовая поддержка молодых ученых и др.

2) Формирование центров превосходства на базе существующих научных институтов, например, поддержка исследовательских команд, ведущих разработки в направлениях, которые можно отнести к зрелым технологиям или мировому мейнстриму:

- формирование комплексных научно-технических программ по реализации совместных проектов науки и бизнеса;

- поиск и привлечение к работе в России исследовательских команд / исследователей мирового уровня, формирование вокруг этих команд профессиональных сообществ;

- поддержка подготовки кадров с компетенциями мирового уровня, в том числе за счет вовлечения в реальную профильную деятельность на ранних этапах образовательной подготовки;

- предоставление инфраструктуры центров в пользование заинтересованным внешним организациям;

- запуск программ исследовательских и образовательных стажировок за рубежом.

3) Поддержка запуска программ прорывных исследований:

- сбор запросов от заинтересованных коммерческих организаций;

- запуск совместных научных лабораторий с участниками рынка;

- запуск программ по трансферу технологий;

- создание междисциплинарных и международных проектных команд;

- запуск программ исследовательских и образовательных стажировок за рубежом.

4) Поддержка исследовательских сообществ:

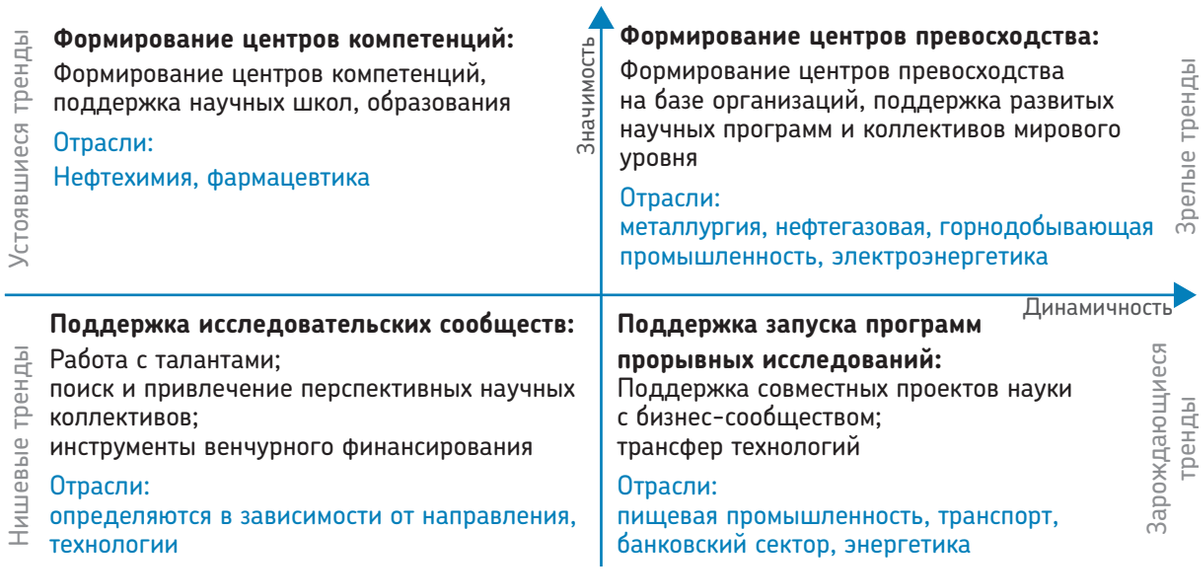
- работа с талантами на ранних стадиях (в том числе дошкольная и школьная подготовка);

- запуск программ по трансферу технологий;

- создание междисциплинарных и международных проектных сообществ и команд;

- развитие инструментария поддержки венчурных проектов и инновационной инфраструктуры (развитие стартапов и пр.).

Рисунок 154. Направления мер поддержки в зависимости от квадранта, в котором фиксируется технология, продукт, услуга



Источник: Центр НТИ СПбПУ на основе методики McKinsey (MGI), «Инновации в России – неисчерпаемый источник, 2018 [476]

8.2. Предложения по комплексным научно-техническим программам

Предложения по комплексным научно-техническим программам сформированы на основе следующих результатов исследования:

1) Семантического и тренд-анализа больших данных, проведенного НИУ ВШЭ с использованием системы iFORA.

2) Сбора данных и выявления центров компетенций, а также существующих заделов по направлениям приоритета в России и в мире (СПбПУ, НИУ ВШЭ, Университет ИТМО).

3) Наукометрического анализа, проведенного СПбПУ совместно с Фондом «Центр стратегических разработок «Северо-Запад».

4) Результатов форсайт-исследований, в том числе экспертных и стратегических сессий, интервью, опросов, проведенных СПбПУ, Фондом «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», Университетом ИТМО. В том числе учитывались результаты обсуждения доклада по проекту Прогноза в ходе заседания Совета по приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития России «Переход к цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» 24 декабря 2018 года.

5) Прогноза развития направлений Приоритета (на основе 5 прогнозных карт, сформированных СПбПУ по итогам анализа).

6) Нормативных правовых, прогнозных, стратегических и иных документов международного и национального уровня.

7) Апробации результатов проекта в рамках 28 выступлений участников проекта с докладами о результатах проекта на различных крупных площадках (форумы, конференции, семинары).

8) Методики оценки необходимых мер поддержки в зависимости от значимости и динамичности развития блоков технологий (методики McKinsey, Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», СПбПУ).

В соответствии с п. 45 Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, «Для достижения результатов по приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации формируются и утверждаются комплексные научно-технические программы и проекты, включающие в себя все этапы инновационного цикла: от получения новых фундаментальных знаний до их практического использования, создания технологий, продуктов и услуг и их выхода на рынок».

Традиционный (прямой) алгоритм формирования комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и проектов, их составляющих, предполагает, как правило, следующую последовательность:

получение новых фундаментальных знаний (1, R1, $1, T1) => практическое использование фундаментальных знаний (2, R2, $2, T2) => создание технологий (3, R3, $3, T3) => создание продуктов и услуг (4, R4, $4, T4) => выход на рынок продуктов и услуг (5, R5, $5, T5), где N – номер этапа инновационного цикла, RN – результаты N-го этапа полного инновационного цикла, $N – объем финансовых средств, затраченных на реализацию N-го этапа за время TN и получение результата RN, TN – время, затраченное на реализацию N-го этапа и получение результатов RN.

Понятно, если мы выводим наукоемкую продукцию на глобальный высокотехнологичных рынок, то

- все результаты R1, R2, R3, R4, R5 должны отвечать, как минимум, мировому уровню, то есть для создания и вывода на рынок best-in-class продуктов нужно применять best-in-class RN результаты, полученные на всех N-этапах реализации полного инновационного цикла;

- время разработки, создания и вывода наукоемкой продукции на глобальный высокотехнологичный рынок необходимо минимизировать: min T = min (T1 + T2 + T3 + T4 +T5), по крайней мере, min T должно быть меньше, чем у конкурентов, представленных на глобальном высокотехнологичном рынке;

- общий объем финансовых средств, затраченных на разработку, создание и вывод на глобальный рынок наукоемкой продукции, также желательно минимизировать: min $ = min ($1 + $2 + $3 + $4 + $5) для того, чтобы сэкономленные финансовые средства направить на разработку и создание другого глобально конкурентоспособного продукта.

Анализируя введенные характеристики, их различные варианты и комбинации, а также учитывая опыт разработки, создания и вывода конкурентоспособной продукции на глобальные высокотехнологичные рынки, можно высказать предположение, что при использовании традиционного (прямого) алгоритма существует значительный риск того, что в итоге создания высокотехнологичных конкурентоспособных продуктов и услуг их своевременного выхода на рынок, тем более, на глобальный рынок, может и не состояться.

1) Долговременный горизонт фундаментальных исследований (5–7 и более лет), как правило, T1 > max (T2, T3, T4, T5), а в некоторых случаях T1 > T2 + T3 + T4 + T5.

2) Сокращение инновационного цикла разработки, создания и выпуска новой продукции: для сохранения конкурентоспособности необходим динамичный вывод продукции на рынок: например, для автомобилестроения – 2–3 года, у мировых лидеров – менее двух лет.

3) Высокая себестоимость полного инновационного цикла с непредсказуемым результатом вывода продукта / услуги на рынок.

4) Рынок использует для формирования новых продуктов и услуг преимущественно технологии и результаты исследований, которые находятся в высокой степени готовности (преимущественно результаты прикладных исследований), желательно, best-in-class технологии и результаты исследований.

Альтернативный (обратный) алгоритм реализации: выход на глобальный высокотехнологичный рынок продуктов и услуг, находящихся на мировом технологическом фронтире (5, R5, $5, T5) => создание глобально конкурентоспособных продуктов и услуг (4, R4, $4, T4) => создание и комплексирование передовых наукоемких мультидисциплинарных технологий (3, R3, $3, T3) => на основе практического использования фундаментальных знаний (2, R2, $2, T2) => получение новых проблемно-ориентированных фундаментальных знаний (1, R1, $1, T1).

Предлагаемый **обратный алгоритм** позволяет обеспечить комплексность проектов и выполнение основополагающего принципа государственной политики в области научно-технологического развития Российской Федерации, предусмотренного п. 30 «системность поддержки» Стратегии: обеспечение полного цикла получения новых знаний, разработку качественно новых технологий, создание инновационных, прорывных продуктов и услуг, формирование новых рынков, а также занятие устойчивого положения на них.

Естественно, в рамках предложений по комплексным научно-техническим программам целесообразно предусмотреть проекты, построенные на основе как традиционного (прямого), так и на основе альтернативного (обратного) принципа.

В зависимости от отнесения блока технологий к квадранту координатной плоскости (на основе анализа больших данных, наукометрического анализа и прогноза) предполагается определенный набор мероприятий поддержки.

Рисунок 155. Предлагаемые к реализации комплексные научно-технические программы[34]

Источник: Анализ СПбПУ

Для подробной характеристики **были выбраны только наиболее проработанные программы,** однако указаны также **концепты двух возможных** комплексных научно-технических программ в сфере **искусственного интеллекта и машинного обучения**, а также **систем обработки больших данных.** При разработке этих программ может быть использован как традиционный, так и альтернативный подход.

34 Обоснование приведено ниже.

Предложения по четырем комплексным научно-техническим программам ранжированы следующим образом:

1) Комплексные научно-технические программы, находящиеся в высокой степени готовности для реализации (суперкомпьютеры и суперкомпьютерные технологии, фотоника, аддитивные технологии, квантовые технологии). При разработке этих программ необходим учет существующих мер поддержки, инициатив, а также координация КНТП с этими мерами для получения синергетического эффекта. Для реализации этих программ предлагается использовать традиционный (прямой) алгоритм.

2) Пример комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, успешно реализуемой проектным консорциумом на высокотехнологичном рынке (цифровые двойники). Для реализации этой программы используется альтернативный (обратный) алгоритм.

8.2.1. Предложения в программу развития технологий фотоники (январь 2019 года)

По результатам проведенного НИУ ВШЭ семантического анализа технологий фотоники были сформированы кластеры технологий. Так, селективное лазерное спекание порошковых компонентов (Selective Laser Sintering) было включено в кластер аддитивных материалов; импульсные лазеры (Pulse Laser) – в кластер технологий доставки лекарственных компонентов; фотонные кристаллы (Photonic crystal) – в кластер кристаллических структур.

1. Оценка рынка в РФ и за рубежом

Ожидается, что к 2024 году объем мирового рынка фотоники превысит $ 784,82 млрд при совокупном темпе годового роста (CAGR) в 8,5% [477]. Объем рынка фотоники в Европе достигает 69 млрд евро, а расходы на НИОКР европейских компаний, работающих на рынке фотоники, достигают почти 10% от выручки, что существенно выше, чем у компаний из авиакосмической, автомобильной и химической отраслей [478].

В 2016 году доля российских публикаций в системе цитирования Web of Science не превышала 3–5% от общемирового объема, результаты анализа патентов по профилю идентифицировали лишь 70 зарубежных патентов (только 13 исходили напрямую из России), при этом общее количество патентов в области – более 30 тыс. ед. [479]

Объем продаж гражданской продукции фотоники, произведенной в России за 2018 год, составил 50 млрд руб. Количество патентов в области фотоники и ее применения, выданных в Российской Федерации увеличилось с 300 шт. в 2015 году до 500 шт. в 2018 году [480].

2. Тренды

В соответствии с результатами проведенного анализа, технологии фотоники относятся к зрелым научным технологиям.

Технологии фотоники активно развиваются и имеют широкое применение в отраслях промышленности и других экономических сферах, также ведутся научные исследования по расширению применения фотонных технологий.

3. Вызовы

По направлению «фотоника» можно отметить следующие важные вызовы:

- надежность передачи информации;
- помехозащищенность;
- габариты сенсоров;
- соответствие уровня развития математических методов обработки информации и развития физических устройств;
- скорость обработки;
- энергоэффективность [481].

4. Мировые центры (на основе анализа публикационной активности организаций в изданиях, рецензируемых системой Scopus, и анализа открытых источников)

Пекинский институт почты и коммуникаций, Хуачжунский университет науки и технологии, Национальный центр научных исследований (Франция), Массачусетский технологический институт.

5. Российские центры (на основе анализа публикационной активности организаций в изданиях, рецензируемых системой Scopus, и анализа открытых источников)

Российская академия наук, Университет ИТМО, Саратовский государственный университет, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, МГУ, СПбПУ, НИЯУ МИФИ, Институт систем обработки изображений РАН.

Также лидерами по индексу Хирша являются исследовательские команды следующих организаций: лаборатория кафедры «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов» Московского политехнического университета (Адаптивная оптика для управления лазерным излучением) (зав. лаб. проф. А.В. Кудряшов – индекс Хирша 21, 43 статьи в журналах системы Scopus); Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН (Технологии функциональных устройств фотоники и нанофотоники как основы новых классов распределенных оптических сенсоров, интеллектуальных измерительных систем и аналоговых процессоров) (директор академик Ю.Н. Кульчин – индекс Хирша 17, 22 статьи в журналах системы Scopus).

6. Барьеры

В докладе Сколковского института науки и технологий представлен следующий перечень барьеров для развития технологий фотоники:

- низкий уровень экспорта передовых технологий и приборов;
- таможенные барьеры для экспорта инновационной продукции и импорта высокотехнологичных компонентов;
- низкий спрос на лазерные технологии;
- устаревшая материальная база полупроводниковой фотоники.

7. Возможные проекты и направления исследований [481]

- гибридизация защищенной и высокоскоростной передачи информации;
- создание технологии информационных сетей на основе квантовых принципов передачи информации;
- развитие дешевых энергоэффективных и быстродействующих приемно-передающих соединений;
- гибридизация устройств оптики и электроники в одном чипе;

– развитие технологий биофотоники;
– развитие оптоэлектронных технологий высокой степени интеграции.

8. Предложения

В соответствии со сформированной в ходе работы над проектом матрицей рекомендаций государственной поддержки в зависимости от значимости и динамичности развития научных и технологических направлений Приоритета, для данного направления рекомендуется использовать формат создания центров компетенций на базе организаций-лидеров и поддержку развития научных программ и коллективов мирового уровня.

В 2017–2020 годах на федеральном уровне действовала Межведомственная программа исследований и разработок в области фотоники. Программа была разработана в рамках протокола заседания научно-координационного совета федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» от 20 февраля 2017 года № ПНКС-14 [482] и утверждена заместителем Министра образования и науки Российской Федерации Л.М. Огородовой, заместителем Министра промышленности и торговли Российской Федерации А.Н. Морозовым и заместителем генерального директора ГК «Роскосмос» М.Н. Хайловым. Бюджет на реализацию составил 75 млн рублей, программа реализуется в рамках рынка «Сейфнет» НТИ, дорожной карты «Нейронет» НТИ и Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Также фотоника и смежные области – квантовые технологии и сенсорика – указываются в качестве приоритетных («сквозных») в рамках реализации Национальной технологической инициативы (в конце 2020 года по итогам конкурсного отбора был создан Центр компетенций НТИ по направлению «Фотоника» на базе Пермского государственного национального исследовательского университета). Помимо указанных дорожных карт технологии фотоники востребованы на рынках «Аэронет», «Маринет» и «Автонет» (ПАО «КАМАЗ», ГК «Геоскан» и др.).

В качестве базовой программы для реализации поддержки технологий фонтоники целесообразно определить программу «Фотонные и оптоинформационные технологии в новом цифровом мире», разработанную на основе концепции, подготовленной под руководством академика В.А. Сойфера в Институте систем обработки изображений РАН и представленную на заседании Совета по приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития России «Переход к цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» 19 июля 2018 года [483].

Целью программы является формирование «сквозных» технологий, исследовательской и производственной инфраструктуры, системы подготовки и переподготовки кадров, обеспечивающих значимую долю продукции и услуг российских организаций на мировом рынке фотоники и оптоинформационных технологий.

В рамках реализации этой программы целесообразна координация мероприятий с Межведомственной программой, расширение взаимодействия в рамках развития рынков НТИ, в том числе взаимодействие с такими профильными центрами компетенций НТИ, как Центр НТИ по направлению «Фотоника» ПГНИУ, Центр квантовых технологий МГУ, Центр НТИ по направлению «Нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальности» ДВФУ, Центр НТИ «Сенсорика» МИЭТ, Центр квантовых коммуникаций НТИ МИСиС, Национальный центр когнитивных разработок (Университет ИТМО) и др.

9. Какие программы реализуются

1. Программа Центра компетенций НТИ по направлению «Фотоника» на базе Пермского государственного национального исследовательского университета.

2. Межведомственная программа исследований и разработок в области фотоники на 2017–2020 годы (http://www.photonica.cislaser.com/data/program_photonica_2017–2020.pdf).

2. План мероприятий («Дорожная карта») «Нейронет» Национальной технологической инициативы. «Дорожная карта» одобрена президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 24.06.2016, Протокол №3 (http://www.nti2035.ru/markets/docs/DK_neuronet.pdf).

3. План мероприятий («Дорожная карта») «Сейфнет» Национальной технологической инициативы. (Проект) (http://www.nti2035.ru/markets/safenet).

8.2.2. Предложения в программу развития квантовых технологий (январь 2019 года)

1. Оценка рынка в РФ и за рубежом

В мире сложилось восемь глобальных кластеров, концентрирующих ресурсы в сфере квантовых технологий: два – в США, по одному – в Европе, Китае, Японии, Австралии, Британии, России. Каждый «полюс» собирает ведущих региональных игроков и представителей науки, государства, корпораций. Внутри кластера выстраиваются целостные технологические цепочки, они привлекают большие суммы финансирования. Так, Евросоюз запланировал инвестировать в квантовые технологии 1 млрд евро, Великобритания в 2014 году запустила Национальную программу развития квантовых технологий на 270 млн фунтов в формате частно-государственного партнерства с такими участниками, как Lockheed Martin, Raytheon BBN, Google, Toshiba. По всему миру корпорации осуществляют инвестиции в квантовые технологии: среди инвесторов компании D-Wave – одного из самых неоднозначных проектов в области квантовых вычислений – можно найти фонд In-Q-tel (венчурный фонд ЦРУ), Goldman Sachs, DFJ Growth (инвестор Twitter, Tumblr).

Китай запустил магистральные сети квантовых коммуникаций между Пекином и Шанхаем, а в 2017 году ввел в эксплуатацию спутник с квантовой связью. Созданные в Китае на государственные деньги элементы квантовой наземной и спутниковой инфраструктуры, а также центр управления отданы бизнесу для тестирования и отработки новых бизнес-моделей. За последние несколько лет крупнейшие мировые ИТ-компании тоже стали активно инвестировать в квантовые вычисления и квантовые коммуникации, среди таких компаний: IBM, Microsoft, Google, Alibaba, Intel, HP, Toshiba и др. В мире работает несколько центров по разработке перспективных стандартов в квантовых технологиях, формирование которых по прогнозам завершится к 2021 году. Таким образом, в сфере квантовых технологий речь идет не просто о венчурном рынке новых изобретений, а о планировании новых технологических инфраструктур и стандартов, для построения которых уже сейчас используются инвестиции крупнейших мировых игроков. Они вкладывают средства в новые квантовые коммуникации, новые квантовые вычисления, новую навигацию, новые квантовые сенсоры и т.д.

Например, рынок квантовой криптографии (защиты данных), оценивается BCG в $ 2,1 трлн к 2035 году. По прогнозу E&Y, квантовые компьютеры сделают технологии шифрования бессмысленными, требуя от пользователей выстраивания новой инфраструктуры. Новые алгоритмы кибербезопасности, основанные на квантовых вычислениях, будут все важнее в долгосрочной перспективе.

В России сегодня в основном финансируются различные исследовательские проекты. Есть несколько отдельных конкурирующих между собой проектов в квантовых коммуникациях, посвященных созданию новых устройств. К некоторым проектам удалось привлечь корпорации в качестве соинвесторов и потенциальных заказчиков. «Газпромбанк» работает с Российским квантовым центром в проекте разработки устройства квантовой рассылки ключа, «Росатом» совместно с Фондом перспективных исследований ведет разработки квантового компьютера. С начала 2019 года «Ростелеком» начал использовать квантовые технологии для передачи данных своих пользователей [484].

2. Тренды

Тенденции рынка показывают, что для пользователей важна не столько сама инфраструктура и управление ею, сколько набор конечных сервисов и новое качество услуг, которые могут быть сформированы благодаря новой инфраструктуре, а также формирование новых бизнес-моделей с использованием ряда перспективных ключевых технологий. Это значит, что новая парадигма телекоммуникаций может формироваться, с одной стороны, через долгосрочную базовую инфраструктуру и, с другой стороны, через формирование нового рынка – что, например, заложено в программе Национальной технологической инициативы.

Мировые тренды показывают, что технологическая инфраструктура и рынки будут стремиться разделяться на региональные зоны, где будут устанавливаться определенные требования и стандарты (например, в рамках БРИКС; Шанхайской организации сотрудничества – ШОС; Евразийского экономического союза – ЕАЭС).

3. Вызовы

Квантовые компьютеры сделают технологии шифрования бессмысленными, требуя от пользователей выстраивания новой инфраструктуры. Новые алгоритмы кибербезопасности, основанные на квантовых вычислениях, будут значимы в долгосрочных горизонтах. Без развития новой инфраструктуры и платформ безопасности с новыми алгоритмами отстающие игроки будут открыты и подвержены киберугрозам. Квантовая криптография способна ответить на новые надвигающиеся вызовы и угрозы.

4. Мировые центры (на основе анализа публикационной активности организаций в изданиях, рецензируемых системой Scopus, и анализа открытых источников)

По научным статьям: Китайская академия наук, Массачусетский технологический институт, Национальный центр научных исследований (Франция).

Бизнес: IBM, Microsoft (США), D-Wave (Канада), NEC (Япония).

5. Российские центры (на основе анализа публикационной активности организаций в изданиях, рецензируемых системой Scopus, и анализа открытых источников)

Среди лидеров по публикационной активности (система Scopus) по направлению приоритета «квантовые технологии» – РАН, МГУ, Университет ИТМО, НИЯУ МИФИ, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Институт физики полупроводников СО РАН. При этом в России сформировано два центра компетенций в этой области: Центр квантовых технологий на базе МГУ (квантовые вычисления, квантовая криптография, квантовое моделирование) и Центр квантовых коммуникаций НТИ на базе МИСиС (на базе Российского квантового центра, Математического института им. В.А. Стеклова РАН, ТГУ и малых инновационных компаний). Развитие компетенций в рамках этого направления позволит сформировать новый и перспективный научно-технологический задел фундаментальной науки.

По оценке экспертов, преимущества России в этом направлении – сильная квантовая математика и исследовательская база; конкурентные заделы и продукты мирового уровня в квантовой криптографии; разработки собственных архитектуры и стандарта квантовых коммуникаций на реально еще не сложившемся рынке, а также опыт освоения значимых региональных рынков связи.

Запущены пилотные квантовые сети в Санкт-Петербурге и Казани. Защищена интеллектуальная собственность на устройство рассылки квантового ключа.

1. Запущен Инжиниринговый центр «Сейфнет».
2. Подготовлен запуск квантового консорциума.
3. Ведется строительство линейно-кабельных сооружений (ЛКС) для волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) в Самарской области, до конца 2017 года будет проложено более 600 км ЛКС.

6. Барьеры

Отсутствие или слабая проработка решений в области проактивного управления вычислительной мощностью; территориально-распределенных систем хранения данных; виртуализации управления ресурсами; и программно-конфигурируемых сетей с защитой на основе квантовых технологий.

7. Возможные проекты и направления исследований

Возможный проект – создание транзакционного телеком-оператора нового типа для построения и управления глобальной сетью передачи данных, защищенной за счет использования квантового канала, между странами Юго-Восточной Азии и Европы через континент.

Предполагаемый результат проекта – развернутая доверенная телекоммуникационная инфраструктура, сопряженная с финансовыми и логистическими центрами «нового шелкового пути» протяженностью около 15 тыс. км от Хельсинки до Пекина с сетью географически распределенных центров обработки данных (ЦОД), в том числе по территории Российской Федерации – свыше 11 тыс. км.

Проект предусматривает создание сверхмощной и безопасной телекоммуникационной среды нового поколения, которая включает магистральные сети (каналы) передачи данных, распределенную сеть ЦОД, криптографическую систему квантового шифрование данных на физическом уровне, обеспечивая сверхвысокую надежность хранения, обработки и передачи информации.

8. Предложения

В соответствии со сформированной в ходе работы над проектом матрицей рекомендаций государственной поддержки в зависимости от значимости и динамичности развития научных и технологических направлений Приоритета, для данного направления рекомендуется использовать формат поддержки исследовательских сообществ.

В качестве аналога можно рассмотреть поддержку центров компетенций НТИ. Государственная поддержка центров компетенций НТИ реализуется в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 16 октября 2017 года №1251 «Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета на оказание государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций и Положения о проведении конкурсного отбора на предоставление грантов на государственную поддержку центров Национальной техноло-

гической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций» (далее – Постановление № 1251).

Отбор получателей грантов осуществлялся на конкурсной основе. Функциями оператора конкурсного отбора в соответствии с Постановлением № 1251 наделено АО «РВК». Также АО «РВК» осуществляет сопровождение и мониторинг деятельности центров компетенций НТИ.

9. Какие программы реализуются

1. «ВЭБ Инновации». Программа инвестирование в развитие стартапов. В качестве приоритетных рассматриваются проекты НТИ, национальной программы «Цифровая экономика» и др. Меры поддержки – предоставление займов компаниям или долевое участие от 10 млн до 1 млрд руб.

2. Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (http://fcpir.ru).

3. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года № 1632-р). Одним из ключевых направлений реализации программы является «создание системы поддержки поисковых, прикладных исследований в области цифровой экономики, обеспечивающей технологическую независимость по направлениям «сквозных» цифровых технологий, конкурентоспособных на глобальном уровне, и национальную безопасность». Среди ключевых «сквозных» технологий выделены: большие данные, нейротехнологии и искусственный интеллект, системы распределенного реестра, квантовые технологии, новые производственные технологии, промышленный Интернет, компоненты робототехники и сенсорика, технологии беспроводной связи и технологии виртуальной и дополненной реальностей. Ответственный исполнитель: Минцифры России.

8.2.3. Предложения в программу развития аддитивных технологий (январь 2019 года)

По результатам проведенного НИУ ВШЭ семантического анализа кластер технологий аддитивного производства включает следующие рынки и технологии: селективное лазерное спекание порошковых компонентов (Selective laser sintering), электронно-лучевая плавка (Electron beam additive manufacturing), массовая персонализация (Mass customization), углепластики (Carbon fiber reinforced polymer), печатная электроника (Printed electronics) и др. Технологии трехмерной печати находят широкое применение в различных отраслях промышленности – в автомобильной, авиакосмической и ряде других.

1. Оценка рынка в РФ и за рубежом

Ежегодные темпы роста мирового рынка аддитивных технологий составляют 15%. При сохранении CAGR на таком уровне Frost & Sullivan прогнозирует увеличение объема рынка с $ 5,31 млрд в 2018 году до $ 21,5 млрд в 2025 году. По мнению аналитиков, к тому времени до 51% рынка будет приходиться на авиационную промышленность, сферу здравоохранения и автомобилестроение. Страны Северной Америки были и, по данным за 2018 год, остаются крупнейшим потребителем аддитивных технологий в мире, отрасли-лидеры – ОПК, аэрокосмическая и автомобильная промышленность, медицина.

Китай широко применяет 3D-печать для массового производства компонентов для аэрокосмической промышленности. Прогнозируемое снижение стоимости производства позволит стране в ближайшие годы нарастить объемы выпускаемой продукции. Потребности России в метал-

лических порошках для 3D-принтеров, а также оборудовании закрываются преимущественно за счет импорта продукции.

Среди крупнейших потребителей порошковых материалов на российском рынке Frost & Sullivan отмечает такие предприятия, как «ОДК-Авиадвигатель» и НПО «ОДК-Сатурн» (в обоих случаях – разработка газотурбинных технологий и двигателей), а также «Новомет-Пермь» (производство погружных электроцентробежных насосов для добычи нефти). Значительную работу по развитию и продвижению аддитивных технологий проводят госкорпорации «Росатом» и «Роскосмос». По состоянию на февраль 2018 года, доля России в структуре мирового рынка аддитивного производства составляет около 1% [485].

2. Тренды

В соответствии с результатами проведенного анализа, аддитивные технологии относятся к прорывным научным направлениям (самый большой среднегодовой темп роста публикаций за последние 5 лет).

Аддитивные технологии переходят из сферы научных разработок и прототипирования в сферу серийного производства. Кроме того, идет расширение аддитивных технологий в направлении многокомпонентной печати.

3. Вызовы

С точки зрения участников стратегических сессий, проведенных в рамках проекта по направлению «аддитивные технологии и новые материалы», наиболее значимые проблемы связаны с ростом требований к эффективности и «внутренними» вызовами развития[35]:

- улучшение физических свойств материалов, в том числе снижение массы проектируемых элементов, ударопрочность, жаропрочность, устойчивость к агрессивной среде;
- запрос на функциональные и smart-материалы;
- потребность в предсказании, анализе, моделировании свойств материалов;
- рост требований к экологичности производства;
- рост требований к организационной эффективности производства.

4. Мировые центры (на основе анализа публикационной активности организаций в изданиях, рецензируемых системой Scopus, и анализа открытых источников)

Наньянский технологический университет, Технологический институт Джорджии, Университет Эрлангена – Нюрнберга, Университет штата Пенсильвания.

5. Российские центры (на основе анализа публикационной активности организаций в изданиях, рецензируемых системой Scopus, и анализа открытых источников)

ВИАМ, РАН, Томский политехнический университет, СПбПУ, СО РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГТУ СТАНКИН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ЮУрГУ, ПНИПУ.

Существует масштабный задел промышленных компаний в этой области: программы по аддитивным технологиям реализуют, например, ГК «Росатом» (ООО «Русатом – аддитивные технологии», РусАТ), «Центр аддитивных технологий» (ЦАТ) группы компаний «Воронежсельмаш» и АО «ОДК». Сотрудничество научных и промышленных организаций по развитию технологий в этой области может сформировать «прорывное» направление исследований в рамках Приоритета.

35 Вызовы предложены экспертами в ходе стратегических сессий.

6. Барьеры[36]

Отсутствие электронных технических архивов, отраслевых банков данных по хранению данных (например, конструкционной прочности материалов, в том числе образцов-свидетелей деталей, полученных из композитных материалов и методами аддитивного производства, отраслевых номенклатурных каталогов промышленного технологического оборудования).

7. Возможные проекты и направления исследований[37]

- Новый рынок керамических материалов (например, газотурбинный двигатель следующего поколения: работающая лопатка, рабочая температура 1600°;
- материалы с принципиально новыми свойствами (функциональные материалы, smart-материалы, графеноподобные материалы, чистые металлические порошки, высокотемпературные композиты, полимеры и т.д.);
- смежные направления из рассматриваемого Приоритета (Smart Factory с взаимосвязью всех элементов по PLM, алгоритмы машинного распознавания и сравнения, средства контроля, новые технологии очистки).

8. Предложения

В соответствии со сформированной в ходе работы над проектом матрицей рекомендаций государственной поддержки в зависимости от значимости и динамичности развития научных и технологических направлений Приоритета для данного направления рекомендуется использовать формат запуска прорывных исследований.

В качестве аналога можно рассмотреть поддержку центров компетенций НТИ. Государственная поддержка центров компетенций НТИ реализуется в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 16 октября 2017 года №1251 «Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета на оказание государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций и Положения о проведении конкурсного отбора на предоставление грантов на государственную поддержку центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций» (далее – Постановление № 1251) [486].

Отбор получателей грантов осуществлялся на конкурсной основе. Функциями оператора конкурсного отбора в соответствии с Постановлением № 1251 наделено АО «РВК». Также АО «РВК» осуществляет сопровождение и мониторинг деятельности центров компетенций НТИ.

Наиболее близким к направлению аддитивных технологий является Центр компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии».

В состав консорциума на основании подписанных соглашений входят: 19 ведущих университетов (СПбПУ, МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ, Сколтех и др.), ГК «Ростех», крупные промышленные высокотехнологические предприятия – лидеры отраслей (ОДК, ОАК, УАЗ и др.), крупнейшие научные организации (НИЦ «Курчатовский институт», РФЯЦ-ВНИИЭФ, ЦНИИ РТК и др.), высокотехнологические компании-лидеры, «Национальные чемпионы»: ГК «Диаконт», лауреат Национальной промышленной премии Российской Федерации «Индустрия» ООО Лаборатория «Вычислительная механика», победители конкурса «Развитие-НТИ Фонда содействия инновациям, резиденты Фонда «Сколково», институты развития (Образовательный центр «Сириус», Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» и др.).

36 Барьеры предложены экспертами в ходе стратегических сессий.
37 Направления предложены экспертами в ходе стратегических сессий.

9. Какие программы реализуются

1. Комплексный план развития аддитивных технологий в России до 2025 года, ВИАМ (https://viam.ru).

2. План мероприятий («Дорожная карта») «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы. Одобрен президиумом Совета при Президенте российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 14.02.2017, Протокол №2 (http://nti.one/docs/ДК%20Технет%20%20приложение%20к%20протоколу%20заседания%20президиума%20Совета.pdf).

3. План мероприятий («Дорожная карта») «Аэронет» Национальной технологической инициативы. Одобрен президиумом Совета при Президенте российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 24.06.2016, Протокол №3 (http://nti.one/docs/DK_aeronet.pdf).

4. Программа развития Центра НТИ «Новые производственные технологии» на базе ИППТ СПбПУ (https://nticenter.spbstu.ru/article/zadachi-centra).

8.2.4. Предложения в программу развития суперкомпьютерных технологий (январь 2019 года)

По результатам проведенного НИУ ВШЭ семантического анализа кластера искусственного интеллекта предлагаются к рассмотрению следующие смежные рынки и технологии: когнитивные вычисления (Cognitive computing), аффективные вычисления (Affective computing), туманные вычисления (Fog computing), облачные вычисления (Cloud computing).

1. Оценка рынка в РФ и за рубежом

Аналитики Markets and Markets оценивали мировой рынок высокопроизводительных вычислений и суперкомпьютеров в 2017 году в $ 32,11 млрд, а рост рынка в $ 44,98 млрд к 2022 году. Ожидается, что рынок вырастет в среднем на 7% в период 2018–2022 годов [487].

В рейтинге ТОП-500 суперкомпьютеров в мире российские компьютеры заняли только 63-ю, 227-ю и 412-ю строки. При этом лидерами являются страны Азии (252 ед., из них 202 ед. – в КНР), США (143 ед.), ЕС (108 ед.).

Производителей суперкомпьютеров в России немного, ключевые – ГК «РСК», АО «Т-Платформы», при этом до 99% элементной базы для продукции поставляется из-за рубежа [488].

2. Тренды

В соответствии с результатами проведенного анализа, суперкомпьютерные технологии относятся к зрелым трендам (низкие темпы роста количества публикаций в журналах, рецензируемых системой Scopus за последние 5 лет).

3. Вызовы[38]

Наличие суперкомпьютерных технологий (СКТ) является необходимым условием для развития экономики. Без их использования невозможно эффективно ответить на «большие вызовы»,

38 На основе данных проекта программы «Комплексная научно-техническая программа исследований, разработок, создания продуктов и услуг на основе суперкомпьютерных технологий на 2018–2025 годы «Цифровой прорыв: суперкомпьютерные технологии для новых и трансформируемых рынков».

определенные Стратегией научно-технологического развития РФ, и преодолеть связанные с ними негативные эффекты, в том числе:

– исчерпание возможностей экономического роста России, основанного на экстенсивной эксплуатации природных ресурсов, их неэффективном использовании;

– непреодолимое отставание в сфере производственных технологий при решении инженерных задач радикально возрастающей сложности, формирования цифровой экономики в целом;

– глобальные демографические сдвиги и проблемы здорового и активного долголетия, сохранение высоких пандемических рисков;

– рост числа опасных природных явлений и экологических катастроф антропогенного характера, и невозможность управления рисками неблагоприятного воздействия на человека;

– обеспечение высокой эффективности и конкурентоспособности по отношению к другим юрисдикциям государственных инструментов и институтов, их доступность за счет цифровизации;

– рост региональной нестабильности и терроризма, глобальные проблемы безопасности и защиты личности в цифровой среде;

– экономическое, научное и военное освоение и использование космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики.

4. Мировые центры (на основе анализа публикационной активности организаций в изданиях, рецензируемых системой Scopus, и анализа открытых источников)

Управление вычислений и компьютерных наук Окриджской национальной лаборатории (CCSD, США), Национальный суперкомпьютерный центр в Гуанчжоу (КНР), Национальный суперкомпьютерный центр в Уси (NSCC-Wuxi) (КНР).

Наиболее мощные суперкомпьютеры в мире, 2018 год: SUMMIT (IBM, Окриджская национальная лаборатория, США), 200,7 Пфлопс; Sierra (IBM (США), 125,7 Пфлопс Sunway TaihuLight (NCRPC, Китай), 125,4 Пфлопс. Производительность самого мощного российского суперкомпьютера «Ломоносов-2» после модернизации составила около 4,94 Пфлопс [489-491].

5. Российские центры (на основе анализа публикационной активности организаций в изданиях, рецензируемых системой Scopus, и анализа открытых источников)

В рамках Прогноза одним из ключевых направлений развития фундаментальных исследований и высоких технологий стали суперкомпьютерные технологии (в том числе потенциальные эксафлопсные вычислители, к 2020 году ожидается появление суперкомпьютеров этого класса на рынке). В России существуют соответствующие компетенции: Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук, НИЦ «Курчатовский институт», СПбПУ, Новосибирский государственный университет, Сибирское отделение РАН, Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Институт программных систем им. А.К. Айламазяна РАН, Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, Институт вычислительной математики СО РАН, Южный федеральный университет, ГосНИИАС, ОИЯИ, ГВЦ Росгидромета, Суперкомпьютерный консорциум университетов России и др.

Также в рамках развития профильных технологий работают такие организации, как ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», ГК «Росатом», Холдинг «Росэлектроника» ГК «Ростех», ГК «РСК», Kraftway, АО «Т-Платформы» и другие.

Представленные организации имеют широкие компетенции для развития новых технологических направлений в сфере высокопроизводительных вычислений, а также формируют значимый научно-образовательный потенциал для развития сферы суперкомпьютерных технологий.

6. Барьеры[39]

Экспертами были отмечены следующие барьеры:

- отсутствие достаточного количества стабильных потребителей СКТ, образующих продуктовые цепочки, объединяющие в себе фундаментальные и прикладные научные исследования, а также инженерно-технические и технологические задачи;
- низкий уровень использования математического моделирования и СКТ в различных сферах науки, экономики и промышленности при этом доля используемого программного обеспечения для реализации технологий и подходов математического моделирования в России не превышает 5–7%;
- высокий уровень зависимости от высококачественных зарубежных программных продуктов, имеющих широкий круг потребителей и занимающих устойчивое положение на мировом рынке, обуславливающего значительный объем инвестиция для развития и роста конкурентоспособности;
- отсутствие высококвалифицированных кадров в промышленности и бизнесе в целом, способных внедрять и (или) осуществлять сервисное сопровождение СКТ в производственном цикле.

7. Возможные проекты и направления исследований[40]

Ключевые технологии:

- создание суперкомпьютерных систем максимальной производительности, взаимосогласованных методов разработки суперкомпьютерных вычислительных ресурсов и программного обеспечения (содизайн, co-design);
- разработка отечественной программы работ по созданию широких классов программных комплексов для инженерного анализа и проектирования;
- организация вычислений (реконфигурируемые, квантовые, нейроморфные и другие);
- предсказательное математическое моделирование и разработка технологий оптимального проектирования с использованием суперкомпьютеров;
- искусственный интеллект и (или) системы принятия решений;
- технологии визуализации данных и человеко-машинного взаимодействия (трехмерная графика, виртуальная и расширенная реальность, сенсоры);
- облачные вычисления и суперкомпьютерные сервисы.

---

39 На основе данных проекта программы «Комплексная научно-техническая программа исследований, разработок, создания продуктов и услуг на основе суперкомпьютерных технологий на 2018–2025 годы «Цифровой прорыв: суперкомпьютерные технологии для новых и трансформируемых рынков».

40 На основе данных проекта программы «Комплексная научно-техническая программа исследований, разработок, создания продуктов и услуг на основе суперкомпьютерных технологий на 2018–2025 годы «Цифровой прорыв: суперкомпьютерные технологии для новых и трансформируемых рынков».

Ключевые проекты:

- программные комплексы (системы) газо-гидродинамического моделирования с моделями геологофизических данных, движения нефти, воды и конденсата по трубопроводам, в насосах и другом оборудовании с процедурами оптимизации расположения скважин в месторождении и рабочих процессов добычи углеводородов;

- программные комплексы оценки состояния месторождения, с учетом сложной структуры нефтяного пласта и его заводненности и решение с его помощью задач оптимизации добычи и повышения коэффициента извлечения нефти;

- платформы для математического моделирования междисциплинарной интерпретации физической реальности, проведения испытаний и максимально реалистичной визуализации в виртуальной реальности различных режимов работы цифровых прототипов различных типов техники (аэрокосмической техники, автотранспорта);

- программные комплексы математического моделирования и средства визуализации решений и расчетных схем различных подсистем сложных технических объектов и реализации полноценных цифровых функциональных двойников;

- программные системы, обеспечивающие оценку долговечности материалов и конструкций, в том числе в условиях интенсивных термоциклических воздействий;

- программные комплексы для разработки проектов изделий, изготавливаемых с помощью аддитивных технологий, для прямого цифрового производства, реализующих концепцию «фабрик будущего»;

- специализированные конструкторские системы, ориентированные на решение отдельных отраслевых задач (парашютных систем, турбореактивных двигателей, ультразвуковых медицинских томографов, перспективных видов вооружения, военной и специальной техники);

- программные системы проектирования перспективных фармацевтических субстанций за счет молекулярного моделирования взаимодействия ингибиторов и эффекторов с белками-мишенями для прохождения стадии доклинических испытаний;

- системы конструирования персонифицированных имплантатов для сердечно-сосудистой хирургии (протезов клапанов сердца, протезов кровеносных сосудов, насосов для вспомогательного и искусственного кровообращения, полностью имплантируемого искусственного сердца);

- программные комплексы молекулярного истолкования диагностируемых патологий и проектирования методов молекулярной коррекции процессов на основе больших данных генетических, биохимических, медицинских наблюдений.

8. Предложения

В соответствии со сформированной в ходе работы над проектом матрицей рекомендаций государственной поддержки в зависимости от значимости и динамичности развития научных и технологических направлений Приоритета, для данного направления рекомендуется использовать формат создания центров компетенций на базе организаций-лидеров и поддержку развития научных программ и коллективов мирового уровня.

Государственная поддержка суперкомпьютерных технологий опирается на долгосрочный прогноз развития страны, составленный Минэкономразвития России в марте 2013 года. В соответствующем документе развитие исследований в области систем машинного обучения,

вычислительных сетей с терабитовыми скоростями, а также развитие суперкомпьютерных технологий вошло в число приоритетных трендов научно-технологического развития на период до 2030 года [492].

В открытых программах развития отрасли суперкомпьютерных технологий следует выделить два направления: целевые программы Союзного государства (координатор этих программ – Минобрнауки России) и общие федеральные целевые программы (ФЦП) развития высокотехнологичных отраслей, где часть мероприятий посвящены тематике развития СКТ, но подбор даже этих мероприятий выглядит достаточно хаотично, а координаторами этих ФЦП выступают самые разные министерства. В конце 2018 года в рамках программы Союзного государства «СКИФ-НЕДРА» специалистами ОИПИ НАН Беларуси был разработан и создан опытный образец персонального суперкомпьютера (ПСК) «СКИФ-ГЕО-Офис» [493].

1. ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Координатор – Минобрнауки России. Государственные заказчики – Минобрнауки России, МГУ им. М.В. Ломоносова. Общий объем финансирования – 239,023 млрд руб., в том числе на НИОКР – около 131,2 млрд руб. [494].

2. ФЦП «Информационное общество на 2012–2020 годы». Координатор – Минкомсвязь России. Общий объем финансирования – 88 млрд руб. в том числе: 2011 год – 3.1 млрд руб.; 2012 год – 3,1 млрд руб.; 2013 год – 3,1 млрд руб.; 2014–2020 годы – 78,7 млрд руб. [495, 496]

В мае 2011 года была предложена целостная концепция по эксафлопсным технологиям «Развитие технологии высокопроизводительных вычислений на базе суперЭВМ эксафлопсного класса (2012–2020 годы.)» – ГК «Росатом». В итоге была создана базовая линейка на базе суперкомпьютера, а также модели малого класса и отечественное программное обеспечение для математического моделирования на базе суперкомпьютерных систем. РФЯЦ-ВНИИЭФ и РФЯЦ-ВНИИТФ совместно с организациями Минобрнауки и Российской академии наук разработана концепция по развитию технологий высокопроизводительных вычислений на базе суперкомпьютеров эксафлопсного класса [497].

Задача по увеличению быстродействия и энергоэффективности суперкомпьютеров и дата-центров стоит перед Центром компетенций НТИ «Сенсорика» по «сквозным» технологиям, который был создан на базе МИЭТ в 2018 году [498].

В качестве базовой программы для реализации поддержки технологий высокопроизводительных вычислений (суперкомпьютеров) целесообразно определить программу «Комплексная научно-техническая программа исследований, разработок, создания продуктов и услуг на основе суперкомпьютерных технологий на 2018–2025 годы «Цифровой прорыв: суперкомпьютерные технологии для новых и трансформируемых рынков», представленную заместителем директора по научной работе НИВЦ МГУ, членом-корреспондентом РАН В.В. Воеводиным на заседании Совета по приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития России «Переход к цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» 19 июля 2018 года [483].

Целями программы (проекта) являются:

– формирование технологической основы и фундаментального задела для высокотехнологичной модернизации и технологического обновления российских предприятий на основе суперкомпьютерных технологий для создания «якорных» продуктов и сервисов, конкурен-

тоспособных на национальном и мировом рынках, включая рынки Национальной технологической инициативы;

– концентрация ресурсов в областях с «критической массой» заделов и ускоренное формирование недостающих групп технологий для создания качественно новых продуктов (товаров, услуг), в том числе сочетая собственные разработки и возможности международного сотрудничества;

– обеспечение эффективного трансфера результатов интеллектуальной деятельности и технологий в реальный сектор экономики для создания новых, глобально конкурентоспособных продуктов, в том числе за счет изменения нормативных и технических требований к существующим или формирующимся рынкам;

– активное содействие расширению рынков за счет установления новых стандартов и обязательных требований, связанных с математическим моделированием, включая экспорт успешных практик регулирования;

– сбалансированное развитие опорной национальной суперкомпьютерной инфраструктуры по мере расширения рынков на базе суперкомпьютерных центров коллективного пользования, уникальных научных установок, центров хранения и обработки данных, телекоммуникационных средств и систем, высокотехнологичного программного обеспечения.

9. Какие программы реализуются

1. ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (http://www.fcpir.ru).

2. ФЦП «Информационное общество на 2012–2020 годы» (http://government.ru/programs/218/events/).

8.2.5. Программа «Формирование цифровой промышленности на основе цифровых двойников»

1. Оценка рынка в РФ и за рубежом

По оценкам маркетингового агентства PRNewswire, глобальный рынок цифровых двойников вырастет с $ 1,82 млрд в 2016 году до $ 15,66 млрд в 2023 году с совокупным среднегодовым темпом роста (CAGR) 37,87%.

В России разработка цифровых двойников ведется Центром компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» в рамках создания Цифровых, «Умных», Виртуальных Фабрик Будущего (Digital, Smart, Virtual Factories of the Future).

Концепция Фабрик Будущего реализуется в рамках дорожной карты «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы и мегапроекта «Фабрики Будущего», нацеленного на развитие и повышение конкурентоспособности отечественной высокотехнологичной промышленности за счет решения сложных научно-технических и инженерно-технологических проблем-вызовов, которые не удается решить высокотехнологичным предприятиям с помощью традиционных подходов.

На мировом рынке цифровых двойников лидируют, в первую очередь, высокотехнологичные компании, оказывающие инжиниринговые услуги крупнейшим автопроизводителям (EDAG, Bertrandt, Semcon и др.), всемирно известные корпорации / компании / организации (General

Electric, Siemens, NASA), крупнейшие вендоры мультидисциплинарных CAx-систем (Dassault Systèmes, Siemens PLM Software, Altair Engineering, ANSYS, ESI Group и др.).

2. Тренды

В 2016 году цифровой двойник впервые появился на кривой зрелости технологий Гартнера, составленной для Интернета вещей (Gartner Hype Cycle for the Internet of Things). В августе 2017 года цифровой двойник впервые появился на цикле зрелости новых технологий Гартнера (Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies) на стадии запуска технологии, а уже в 2018 году переместился на пик завышенных ожиданий.

Компания IDC прогнозирует, что к 2020 году 30% компаний, входящих в список 2000 крупнейших публичных компаний мира по версии журнала Forbes, будут использовать данные из цифровых двойников продуктов и оборудования, подключенного благодаря технологиям интернета вещей, для повышения вероятности успеха инновационных продуктов на рынке и повышения производительности компании; при этом ожидается, что за счет цифровых двойников компаниям удастся увеличить прибыль на 25%.

Кроме того, компания Gartner прогнозирует, что к 2021 году половина крупных промышленных компаний будут использовать цифровые двойники, что приведет к повышению эффективности компаний на 10%.

3. Вызовы

Наукоемкие мультидисциплинарные технологии мирового уровня стремительно развиваются. Мировой опыт показывает, что передовые наукоемкие продукты и услуги становятся с каждым годом всё сложнее, а времени и финансов, выделяемых на их разработку, на все этапы инновационного цикла, как правило, становится всё меньше – происходит своеобразная «компрессия времени и финансов». Поэтому практически перестали работать традиционные подходы, основанные на «доработке изделий и продуктов на основе многочисленных испытаний», в том числе, на основе дорогостоящих натурных испытаний. Себестоимость инновационного цикла и разработки продукции становится настолько высокой, что в случае организации массового производства, финальная стоимость продукции на глобальных высокотехнологичных рынках также будет высокой, что предопределяет ее неконкурентоспособность. В итоге с разработанными продуктами мы очень часто получаем ситуацию, которую кратко можно охарактеризовать так – «дорого и долго».

Поэтому мировой технологический фронтир, как правило, «убегает» вперед значительно быстрее, чем мы его догоняем, «окно возможностей» по выводу продуктов и услуг на глобальный высокотехнологичный рынок закрывается раньше, чем мы им смогли воспользоваться.

4. Мировые центры (на основе анализа публикационной активности организаций в изданиях, рецензируемых системой Scopus, и анализа открытых источников)

По данным Scopus: Германский центр авиации и космонавтики, Военно-воздушная база Райт-Паттерсон (США), Китайская академия наук, Пекинский университет технологий, Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена и др.

По экспертным оценкам: компании, оказывающие инжиниринговые услуги крупнейшим автопроизводителям (EDAG, Bertrandt, Semcon и др.), всемирно известные корпорации / компании / организации (General Electric, Siemens, NASA), крупнейшие вендоры мультидисциплинарных CAx-систем (Dassault Systèmes, Siemens PLM Software, Altair Engineering, ANSYS, ESI Group и др.).

5. Российские центры (на основе анализа публикационной активности организаций в изданиях, рецензируемых системой Scopus, и анализа открытых источников)

По данным Scopus: Центр компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии», Объединенный институт ядерных исследований, МИРЭА.

По экспертным оценкам: Центр компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии», РФЯЦ-ВНИИЭФ, ЮУрГУ, УрФУ, ИМАШ РАН.

6. Барьеры

По оценкам экспертов, существуют следующие барьеры:

– отсутствие (недостаточность) национальных стандартов, определяющих требования к оформлению, учету, хранению и обмену цифровой (электронной) проектно-конструкторской и эксплуатационной документации и к цифровой модели изделия на всех этапах жизненного цикла изделия, что, безусловно, препятствует массовому внедрению передовых технологий цифрового двойника, масштабированию и тиражированию лучших практик, однако позволяет компаниям-лидерам сформировать новую бизнес-модель на основе триады – «технологический прорыв» & «технологический отрыв» & «технологическое превосходство»;

– требование обязательного представления на бумажном носителе цифровой модели конструкторского изделия, оформленной надлежащим образом;

– отсутствие порядка признания и использования результатов вычислительных экспериментов, недостаточность практики проведения виртуальных испытаний, необходимость оптимизации порядка, условий и объемов проведения натурных испытаний;

– отсутствие результатов натурных испытаний в цифровом формате;

– отсутствие стандартизации использования цифровых моделей при конструировании изделий из композиционных материалов и их применении;

– отсутствие в Российской Федерации системы сертификации в области передовых производственных технологий, испытательных лабораторий, а также систем математического моделирования, в том числе решений и программного обеспечения;

– недостаточный уровень инженерных компетенций и др.

7. Возможные проекты

В настоящее время сформирован и в различных форматах реализуется ряд комплексных научно-технических проектов, направленных на разработку цифровых двойников со следующими высокотехнологичными предприятиями из различных отраслей промышленности:

– автомобилестроение (базовые организации: ФГУП НАМИ, Госкорпорация «Ростех» / КамАЗ, АВТОВАЗ; Ульяновский автомобильный завод и др., ряд автомобильных концернов – мировых лидеров из Германии, Великобритании, Швеции и Китая);

– авиастроение (базовые организации – «Объединенная авиастроительная корпорация» / «Гражданские самолеты Сухого», «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина», «Корпорация «Иркут» и др.);

- машиностроение, энергомашиностроение и атомное машиностроение (базовые организации – Госкорпорация «Росатом» / Топливная компания ТВЭЛ / НПО «Центротех»; Госкорпорация «Росатом» / «Атомэнергомаш», Госкорпорация «Росатом» / «Концерн «Росэнергоатом», концерн «Силовые машины», машиностроительный холдинг «Синара – Транспортные машины», Казанское моторостроительное производственное объединение, «РЭП-Холдинг» и др.);

- вертолетостроение (базовые организации – Госкорпорация «Ростех» / кластер «Авиастроение» / холдинг «Вертолеты России» («Камов», Московский вертолетный завод им. М.Д. Миля, «ВР-технологии», Казанский вертолетный завод, «Редуктор-ПМ» и др.);

- судостроение и кораблестроение (базовые организации – Объединенная судостроительная корпорация / «Средне-Невский судостроительный завод; Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит» им. академика Н.Н. Исанина; ЦКБ морской техники «Рубин», ЦНИИ судового машиностроения и др.);

- двигателестроение (базовые организации – Госкорпорация «Ростех» / кластер «Авиастроение» / Объединенная двигателестроительная корпорация (ОДК-Сатурн, ОДК-Климов, ОДК-УМПО и др.); «Синара – Транспортные Машины» / Уральский дизель-моторный завод, «Звезда» и др.);

- космическая отрасль (базовые организации – Госкорпорация Роскосмос / Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва, Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнёва и др.);

- оборонно-промышленный комплекс.

Например, в рамках реализации дорожной карты «Технет НТИ – ОДК» реализуются комплексные научно-технические проекты по разработке цифровых двойников 5 газотурбинных двигателей:

- разработка ГТД мощностью 500 и 1500 л.с. на базе «умного» цифрового двойника с использованием технологий аддитивного производства;

- разработка перспективных морских ГТД с применением технологий цифровых двойников и виртуальных испытаний;

- разработка композитных лопаток вентилятора для ГТД с тягой 14 и 35 тонн;

- разработка мероприятий по повышению ресурса турбин газоперекачивающих ГТУ;

- снижение массы ГТД мощностью 3000 л.с. с применением технологии цифровых двойников.

Эти проекты включают в себя все этапы инновационного цикла: от получения новых фундаментальных знаний (например, о процессе кристаллизации металла) до их практического использования (математическое моделирование направленной кристаллизации и монокристаллического литья), создания технологий, продуктов и услуг и их выхода на рынок (в виде конкретных моделей газотурбинных двигателей с заданными характеристиками по мощности, тяге и др.).

Кроме того, комплексный характер проектов достигается за счет трансфера технологий и компетенций по разработке цифровых двойников в соответствующие отрасли и компании посредством разработки концепции и создания зеркальных инжиниринговых центров.

Естественно, список комплексных научно-технических проектов не является окончательным и может быть уточнен и дополнен в любой момент по заказу высокотехнологичной корпорации / компании, конкурирующей на глобальных рынках.

8. Предложения

В соответствии с п. 45 Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, «Для достижения результатов по приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации, формируются и утверждаются **комплексные научно-технические программы и проекты, включающие в себя все этапы инновационного цикла: от получения новых фундаментальных знаний до их практического использования, создания технологий, продуктов и услуг и их выхода на рынок».**

Традиционный (прямой) алгоритм формирования комплексных научно-технических программ и проектов предполагает следующую последовательность:

Получение новых фундаментальных знаний (1) => практическое использование фундаментальных знаний (2) => создание технологий (3) => создание продуктов и услуг (4) => выход на рынок продуктов и услуг (5).

При использовании этого алгоритма существует значительный риск того, что в итоге создания высокотехнологичных конкурентоспособных продуктов и услуг и их своевременного выхода на рынок, тем более, глобальный рынок, не состоится. Причин может быть несколько.

Во-первых, это связано с тем, что наукоемкие мультидисциплинарные технологии мирового уровня стремительно развиваются.

Во-вторых, мировой опыт показывает, что передовые наукоемкие продукты и услуги становятся с каждым годом всё сложнее, а времени и финансов, выделяемых на их разработку, на все этапы инновационного цикла, как правило, становится всё меньше – происходит своеобразная «компрессия времени и финансов». Поэтому практически перестали работать традиционные подходы, основанные на «доработке изделий и продуктов на основе многочисленных испытаний», в том числе, на основе дорогостоящих натурных испытаний. Себестоимость инновационного цикла и разработки продукции становится настолько высокой, что в случае организации массового производства, финальная стоимость продукции на глобальных высокотехнологичных рынках также будет высокой, что предопределяет ее неконкурентоспособность. В итоге с разработанными продуктами мы очень часто получаем ситуацию, которую кратко можно охарактеризовать так – «дорого и долго».

В связи с этим в рамках комплексной научно-технической программы (КНТП) «Формирование цифровой промышленности на основе цифровых двойников» предлагается использовать **обратный алгоритм** формирования комплексных научно-технических проектов:

Глобальный высокотехнологичный рынок продуктов и услуг (мировой технологический фронтир (5) => создание глобально конкурентоспособных продуктов и услуг (4) => создание и комплексирование передовых наукоемких мультидисциплинарных технологий (3) на основе применения фундаментальных знаний (2) => получение новых проблемно-ориентированных фундаментальных знаний (1).

Предлагаемый **обратный алгоритм** позволяет обеспечить комплексность проектов и выполнение основополагающего принципа государственной политики в области научно-технологического развития Российской Федерации, предусмотренного п. 30 Стратегии «системность поддержки»: «обеспечение полного цикла получения новых знаний, разработки качественно новых технологий, создания инновационных, прорывных продуктов и услуг, формирования новых рынков, а также занятие устойчивого положения на них».

Реализация обратного алгоритма начинается с формирования проблемы-вызова государственного значения по созданию глобально конкурентоспособного продукта, поступившего или от

государства, или от корпорации / компании высокотехнологичной отрасли промышленности, заинтересованной в создании прорывного инновационного продукта и выводе его на рынок (5).

Далее, для его создания разрабатывается цифровой двойник (4), для чего используется широкий спектр «best-in-class» технологий мирового уровня, как правило, с разработкой собственных технологий и интеллектуальных ноу-хау (3).

При разработке цифрового двойника происходит практическое использование тех новых фундаментальных знаний (2), которые были получены и необходимы для выполнения главной цели – создания и вывода на рынок глобально конкурентоспособного продукта, то есть проблемно-ориентированных фундаментальных знаний (1).

Для реализации КНТП «Формирование цифровой промышленности на основе цифровых двойников» рекомендуется использовать поддержку Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» – создание цифровых двойников изделий и производственных процессов напрямую предусмотрено Программой развития Центра.

9. Какие программы реализуются (в хронологическом порядке)

1. Мегапроект «Фабрики Будущего», одобренный на расширенном заседании наблюдательного совета АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов» под председательством Президента Российской Федерации В.В. Путина 21 июля 2016 года (перечень перспективных долгосрочных проектов по направлениям Национальной технологической инициативы для реализации проекта «Фабрики Будущего»).

2. План мероприятий («дорожная карта») «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы, одобренная на заседании президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 14 февраля 2017 года (http://nti.one/docs/ДК%20Технет%20-%20приложение%20к%20протоколу%20заседания%20президиума%20Совета.pdf).

3. Реализация мегапроекта «Фабрики Будущего» с предприятиями высокотехнологичной промышленности Республики Татарстан (на основании перечня поручений Президента Республики Татарстан Р.Н. Минниханова по итогам рабочей поездки в Санкт-Петербург 28 апреля 2017 года).

4. Мегапроект «Фабрики Будущего» в Санкт-Петербурге (на основании распоряжения губернатора Санкт-Петербурга о создании Проектного офиса «Фабрики Будущего» от 25 июля 2017 года).

5. Программа развития Центра НТИ «Новые производственные технологии» на базе Института передовых производственных технологий СПбПУ, одобренная в декабре 2017 года (https://nticenter.spbstu.ru/article/zadachi-centra).

6. План мероприятий («дорожная карта») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Технет» (передовые производственные технологии), утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 марта 2018 года № 482-р (http://www.nti2035.ru/documents/docs/NDK_technet.pdf).

7. Программа инфраструктурного центра по развитию направления Национальной технологической инициативы «Технет» (передовые производственные технологии), одобренная 17 октября 2018 года.

8. Программа «Технет-Сибирь» (http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/12_december/07/tehnet-sibir.pdf) и резолюция IV Съезда инженеров Сибири (http://assets.fea.ru/uploads/fea/

news/2018/12_december/07/resolution.pdf), одобренные 19–20 ноября 2018 года.

9. План мероприятий («дорожная карта») по сотрудничеству между АО «ОДК» и Центром НТИ «Новые производственные технологии» ФГАОУ ВО СПбПУ «Технет НТИ – ОДК», одобренный 3 декабря 2018 года.

10. Ведомственный проект Минпромторга России «Цифровая промышленность (Промышленность 4.0)» (проект «Цифровой двойник», программы переподготовки в сфере дополнительного образования, межотраслевые центры апробации и внедрения цифровых промышленных технологий).

11. Дорожная карта по направлению развития «сквозной» технологии «Новые производственные технологии» в рамках федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Дорожная карта была утверждена 27 сентября 2019 года на заседании президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспертно-аналитический доклад посвящен развитию передовых производственных технологий (Advanced Manufacturing Technologies).

Материалы доклада были подготовлены коллективом авторов, в число которых вошли представители Центра компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Инфраструктурного центра по развитию направления «Технет» НТИ, Национального исследовательского университета «Высшая школа экономика», Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», ФБУ «Российское технологическое агентство» (центр управления проектами в промышленности).

Формирование доклада происходило в январе – июне 2020 года. В проведенном исследовании были учтены не только долгосрочные глобальные тенденции развития передовых производственных технологий, но и тенденции, играющие существенную роль в формировании мировой социально-экономической повестки в период проведения исследования.

Одним из таких значительных общемировых процессов стал кризис цен на нефть, развернувшийся в марте 2020 года и оказавший прямое влияние на мировую экономику в целом, а также на экономику Российской Федерации, в частности. Другой немаловажный процесс – пандемия коронавирусной инфекции (COVID-19), которая за короткий промежуток времени привела к кардинальным изменениям глобального мира и представлений о нем.

В Главе 1 экспертно-аналитического доклада рассмотрено значение пандемии коронавирусной инфекции (COVID-19) с точки зрения ее воздействия на мировые экономические процессы, а также развитие передовых производственных технологий в новой реальности. Рассматриваются подходы, использующиеся для оценки последствий пандемии, а также проблемы прогнозирования последствий в условиях неопределенности.

Глава 2 отражает эволюцию представлений о передовых производственных технологиях в мире. В разделе 2.1 рассмотрены различные классификации этапов развития промышленности на пути цифровой трансформации; обозначены основные положения концепции IV промышленной революции (Индустрии 4.0), перспективы ее развития.

Кроме того, проведен анализ подходов к определению передовых производственных технологий в географическом разрезе. Раздел 2.2 посвящен описанию видения передового производства в США, Канаде, ЕС, КНР, РФ. На настоящий момент в мире не выработано универсального определения передовых производственных технологий, также отсутствует согласие в вопросе о том, какие конкретно технологии следует включать в перечень передовых производственных. Можно заключить, что в иностранных языках не существует устойчивого аналога термину «передовые производственные технологии», применяемому в Российской Федерации. Многообразие подходов к интерпретации, наблюдаемое в различных странах, отражает исторические особенности развития промышленной революции и географическую специфику потребностей промышленного сектора в разных регионах мира.

Помимо этого, в Главе 2 рассмотрены государственная политика, направленная на развитие передовых производственных технологий и реализуемая в различных регионах мира. В разделе 2.3 описаны инициативы и программы развития передовых производственных технологий, реализуемые в США, Канаде, ЕС, КНР, РФ. Многообразие государственных стратегий в проанализированных странах и регионах свидетельствует о понимании необходимости широкого распространения передовых производственных технологий, поскольку они играют существенную роль в развитии промышленного производства, а также влияют на показатели экономического роста. Мероприятия, инициированные государствами в целях поддержки раз-

вития передовых производственных технологий, различаются от региона к региону, и тем не менее можно выделить общие тенденции, такие как: разработка планов / стратегий / «дорожных карт»; создание консорциумов / кластеров по передовым производственным технологиям, направленное на образование инновационных сетей и сообществ; развитие соответствующей инфраструктуры; формирование государственно-частных партнерств; мероприятия в области кадрово-образовательной политики.

В Главе 3 проведена оценка объемов и динамики спроса на продукты в области передовых производственных технологий. Приоритетными с точки зрения спроса и внедрения передовых производственных решений были определены следующие отрасли обрабатывающего производства:

- автомобилестроение (производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов, включая производство двигателей для автотранспортных средств);
- двигателестроение (производство силовых установок и двигателей для летательных аппаратов, включая космические);
- авиастроение и ракетно-космическая техника (производство летательных аппаратов, включая космические, и соответствующего оборудования);
- машиностроение, включая атомное, нефтегазовое, тяжелое, специальное машиностроение, железнодорожный транспорт (производство машин и оборудования общего назначения);
- судостроение и кораблестроение (строительство кораблей, судов и лодок);
- непрерывное / процессное производство (добыча полезных ископаемых; обрабатывающие производства: производство металлургическое, производство кокса и нефтепродуктов; производство химических веществ и химических продуктов).

Анализ рынков в области передовых производственных технологий представлен в секторальном разрезе в соответствие указанным перечнем отраслей промышленности. Согласно анализу Гарвардской лаборатории роста (Harvard Growth Lab), наиболее перспективными отраслями для Российской Федерации в части стратегии «усложнения» экономики, в том числе развития новых направлений продуктов, являются промышленное машиностроение и производство автомобилей. Кроме того, учтены особенности спроса на технологические решения с точки зрения географической структуры рынков. Лидирующие позиции по большинству направлений принадлежат США и КНР.

Глава 4 посвящена описанию рынков «сквозных» технологий по направлению «Технет» НТИ. В докладе рассмотрены следующие рыночные направления: «цифровое проектирование и моделирование», «новые материалы», «аддитивные технологии», «промышленная сенсорика», «робототехника», «рынок больших данных (Big Data)», «индустриальный Интернет». Представлены результаты анализа текущих численных параметров, а также прогнозы развития рынков; выявлены основные игроки и важнейшие события на рынках передовых производственных технологий; определены ключевые технологии, которые в будущем могут оказать существенное влияние на развитие рынков направления «Технет» НТИ.

В Главе 5 проведена оценка законодательных и социальных барьеров, проанализированы основные тренды, которые влияют на рост, либо на снижение барьеров, проанализированы нормативные правовые документы.

В Главе 6 подчеркивается значение использования новых инструментов научно-технологической политики в рамках российской повестки. Тенденция цифровизации инструментов научно-технологической политики, рост востребованности цифровых решений объясняется тем, что они формируют основу для обеспечения комплексной поддержки перспективных направлений и выхода на новый уровень проведения политики в области науки и технологий, поскольку упрощают и ускоряют процессы планирования, реализации, координации, мониторинга, оценки эффективности мер политики и проектной деятельности.

Помимо этого, в Главе 6 описаны результаты анализа реализации стратегического Приоритета научно-технологического развития, представлены краткие описания наиболее перспективных технологических направлений и обозначены возможности их развития в Российской Федерации. К числу перспективных технологий, продуктов и услуг в средне- и долгосрочном периоде были отнесены следующие направления:

- новое поколение сенсоров, включая интеллектуальные, биосенсоры, квантовые и др.;
- мобильные робототехнические комплексы;
- системы туманных, росистых (Dew computing) и граничных вычислений;
- нейроморфное оборудование;
- 4D-печать.

Большинство выявленных перспективных технологий и продуктов / услуг носит «сквозной» характер и находит применение в различных отраслях. В соответствии с результатами исследования, в настоящее время продукты и сервисы на основе передовых цифровых и интеллектуальных производственных технологий используются в таких отраслях, как обрабатывающая промышленность, электроэнергетика, строительный комплекс, сельское хозяйство, сектор транспортных услуг.

В Главе 7 представлен прогноз развития технологий, продуктов и услуг по направлениям Приоритета до 2030 года. С целью формирования прогноза был проведен анализ тренд-карт продуктов, технологий и услуг; анализ трендов цикла Гартнера на 2018–2019 годы; наукометрический анализ; были использованы результаты научных изысканий, выполненных участниками рабочей группы проекта, по направлениям «искусственный интеллект» и «машинное обучение», «системы обработки больших данных», «новые материалы и способы конструирования»; применены результаты проектной и оценочной работы, проведенной экспертными группами в рамках проектных сессий и публичных мероприятий.

В соответствии с методикой формирования прогноза, было осуществлено ранжирование перспективных продуктов и технологий в рамках четырех групп:

- Устоявшиеся тренды – технологии, продукты и услуги, которые уже долгое время находятся на рынке, при этом динамика их роста низкая. Отнесены в прогнозе на период 2019–2020 годов.
- Зрелые тренды – значимые направления исследований, которые станут точками роста в ближайшие 1–2 года. Отнесены в прогнозе к 2021–2022 годам.
- Зарождающиеся тренды – технологии, продукты и услуги, которые еще не заняли активное положение на рынке, но активно растут. Отнесены в прогнозе на срок 2023–2026 годов.

- Нишевые тренды – узкие направления, которые в долгосрочном прогнозе могут стать новыми точками роста. Отнесены в прогнозе на 2027–2030 годы.

Глава 8 посвящена результатам разработки предложений по организации системы поддержки ключевых профильных направлений в Российской Федерации. В докладе представлены предложения по четырем комплексным научно-техническим программам, находящимся в высокой степени готовности для реализации:

- предложения в программу развития технологий фотоники (январь 2019 года);
- предложения в программу развития квантовых технологий (январь 2019 года);
- предложения в программу развития аддитивных технологий (январь 2019 года);
- предложения в программу развития суперкомпьютерных технологий (январь 2019 года);

а также пример комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Формирование цифровой промышленности на основе цифровых двойников».

Таким образом, в экспертно-аналитическом докладе «Передовые производственные технологии: возможности для России» представлены: всесторонний анализ развития передовых производственных технологий как одного из ключевых трендов IV промышленной революции как в мире в целом, так и в Российской Федерации в частности; прогноз развития технологий, продуктов и услуг по направлениям Приоритета научно-технологического развития РФ до 2030 года; а также сформированы предложения по организации системы поддержки ключевых профильных направлений передовых производственных технологий в Российской Федерации.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРТНОГО ОПРОСА

Для приоритизации трендов на рынках «Технет» НТИ и формирования перечня барьеров был проведен экспертный опрос, в котором приняли участие 55 экспертов. Опрос проводился в онлайн-формате на платформе Google Docs. Отбор экспертов осуществлялся по базе данных, сформированной в ходе реализации проекта «Разработка дорожной карты по «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии», реализованного в апреле – июне 2019 года, базе экспертов по направлению «Технет» НТИ, базе участников консорциума Центра НТИ СПбПУ. Всего было разослано более 600 приглашений к участию[41].

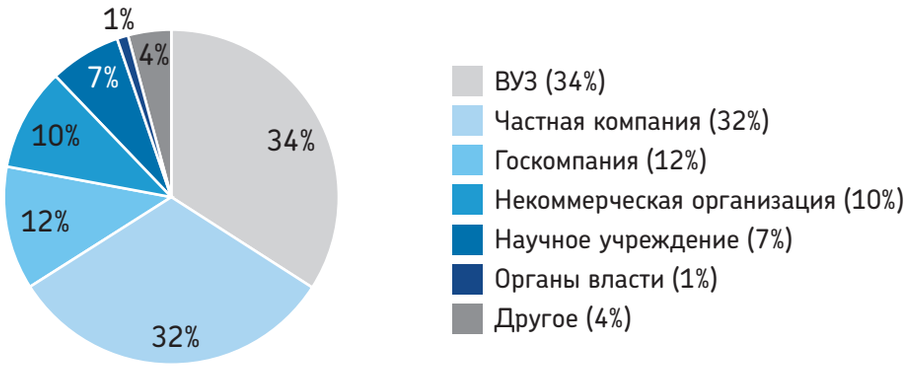
Цели опроса:

- приоритизировать основные факторы, влияющие на развитие рынков «Технет» НТИ в России;
- приоритизировать значимость рынков «Технет» НТИ на 2019 и 2024 годы;
- оценить и ранжировать барьеры для развития рынков «Технет» НТИ.

Участники опроса

В опросе приняли участие представители частных предприятий (32%), вузов (34%), научных учреждений (7%), государственных компаний (12%), некоммерческих организаций (10%) и др.

Рисунок 156. Типы организаций, которые представляют респонденты (распределение, %)



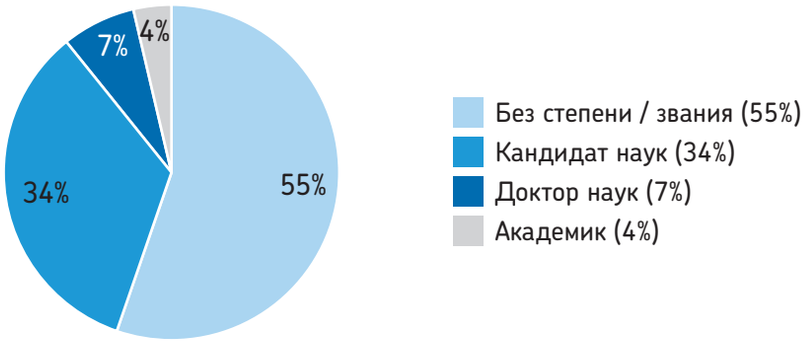
Источник: Ассоциация «Технет», Центр НТИ СПбПУ

Среди респондентов – представители таких организаций, как ПАО «Компания «Сухой», Университет ИТМО, университет МГУ им. М.В. Ломоносова, ГК «Диаконт», Сколковский институт науки и технологий (Сколтех), Российское технологическое агентство, Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ), Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» (АО «ОДК») и др.

До 45% участников опроса имеют ученую степень и / или звание: 34% – кандидаты наук, 7% – доктора наук, 4% – академики, 55% участников опроса не имеют ученой степени / звания.

41 Здесь и далее в разделе – Ассоциация «Технет» и Центр НТИ СПбПУ по результатам экспертного опроса.

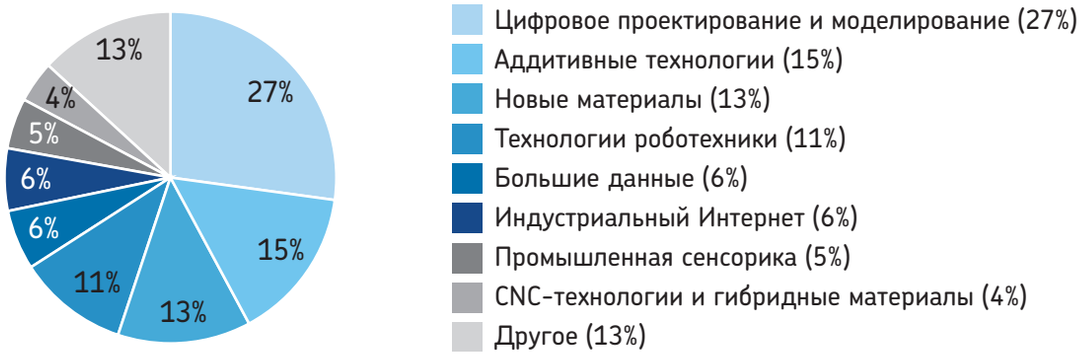
Рисунок 157. Научный статус респондентов (распределение, %)



Источник: Ассоциация «Технет», Центр НТИ СПбПУ

Большинство участников опроса (27%) специализируется в сфере цифрового проектирования и моделирования, 15% – в сфере аддитивных технологий, 13% – в технологиях новых материалов, 11% – в технологиях робототехники, 34% – в других технологических направлениях.

Рисунок 158. Специализация респондентов опроса (распределение, %)



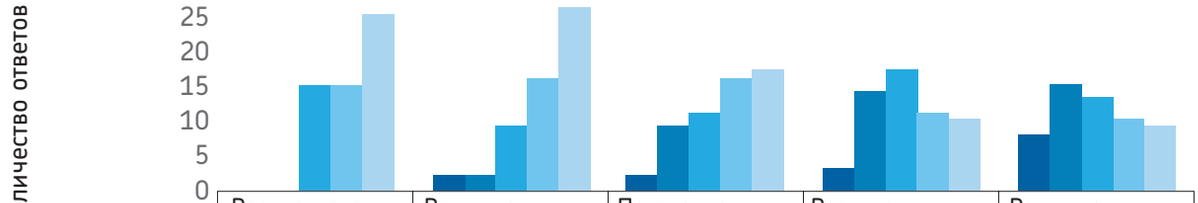
Источник: Ассоциация «Технет», Центр НТИ СПбПУ

Приоритизация основных рыночных факторов, влияющих на рынки «Технет» НТИ

По результатам приоритизации факторов на первом месте (26 ответов «очень высокая значимость») – развитие цифровых и информационных технологий и рост количества устройств, подключенных к всемирной сети.

На втором месте – фактор роста технологических рынков, в том числе смещение конкуренции с этапа производства на этап проектирования (25 ответов «очень высокая значимость»), на третьем месте – появление новых бизнес-моделей, в том числе за счет внедрения платформенных решений (17 ответов «очень высокая значимость»). Таким образом, по мнению экспертов, наиболее значимую роль в развитии рынков «Технет» НТИ играют рыночные факторы.

Рисунок 159. Приоритетность факторов, влияющих на развитие рынков «Технет» (количество ответов)



	Рост технологических рынков в сфере новых производственных технологий: смещение конкуренций с этапа производства – на этап проектирования	Развитие цифровых и информационных технологий, рост количества устройств в мире, подключенных к всемирной сети	Появление новых бизнес-моделей, в том числе за счет развития платформенных решений	Реализация национальных программ поддержки промышленной трансформации: «Индустрия 4.0» (Германия) и др.	Развитие зеленых технологий, снижение влияния промышленных производств на окружающую среду
Низкая	0	2	2	3	8
Ниже среднего	0	2	9	14	15
Средняя	15	9	11	17	13
Высокая	15	16	16	11	10
Очень высокая	25	26	17	10	9

Источник: Ассоциация «Технет», Центр НТИ СПбПУ

Приоритизация рынков «Технет» НТИ в 2019 и 2024 годах

В ходе опроса эксперта оценивали приоритетность технологий в 2019 и 2024 годах. В целом эксперты высоко оценили значимость рынков «Технет» НТИ в 2019 году. На первом месте – рынки цифрового проектирования и моделирования (38 ответов «очень высокая значимость») и рынки индустриального Интернета (37 ответов «очень высокая значимость»), рынки новых материалов (23 ответа «очень высокая значимость»).

Таблица 35. Приоритетность рынков «Технет» НТИ в 2019 году (количество ответов)

	Низкая	Ниже среднего	Средняя	Высокая	Очень высокая
Цифровое проектирование и моделирование	0	0	3	14	38
Технологии робототехники	0	2	12	24	17
Промышленная сенсорика	1	3	26	15	10
Новые материалы	0	5	8	19	23
Аддитивные технологии	0	5	20	17	13
CNC-технологии и гибридные технологии	0	5	19	25	6
Большие данные	2	4	13	24	12
Индустриальный Интернет	0	0	4	14	37

Источник: Ассоциация «Технет», Центр НТИ СПбПУ

На втором месте – рынки CNC-технологий и гибридных технологий (25 ответов «высокая значимость»), больших данных (24 ответа «высокая значимость»), технологии робототехники (24 ответа «высокая значимость»).

На третьем месте – рынки промышленной сенсорики (26 ответов «средняя значимость») и рынки аддитивных технологий (20 ответов «средняя значимость»).

По мнению респондентов приоритетность рынков «Технет» НТИ изменится к 2024 году. На первом месте рынки промышленной сенсорики (37 ответов «очень высокая значимость»).

Таблица 36. Приоритетность рынков «Технет» НТИ в 2024 году (количество ответов)

	Низкая	Ниже среднего	Средняя	Высокая	Очень высокая
Цифровое проектирование и моделирование	0	0	8	21	26
Технологии робототехники	0	2	13	24	16
Промышленная сенсорика	0	1	3	14	37
Новые материалы	2	3	6	23	21
Аддитивные технологии	0	2	13	25	15
CNC-технологии и гибридные технологии	1	2	11	13	28
Большие данные	1	2	11	13	28
Индустриальный Интернет	1	2	11	17	24

Источник: Ассоциация «Технет», Центр НТИ СПбПУ

На втором месте – рынки больших данных (28 ответов «очень высокая значимость»), CNC-технологии и гибридные технологии (28 ответов «очень высокая значимость»), цифровое проектирование и моделирование (26 ответов «очень высокая значимость»), а также рынки индустриального Интернета (24 ответа «очень высокая значимость»).

На третьем месте – рынки аддитивных технологий (25 ответов «высокая значимость»), рынки новых материалов (23 ответа «высокая значимость»).

Барьеры, препятствующие развитию рынков «Технет» НТИ

В ходе опроса респонденты приоритизировали барьеры, препятствующие разработке новых технологий на рынках «Технет» НТИ и их внедрению.

Ключевыми барьерами, препятствующими внедрению технологий на профильных рынках, по мнению экспертов, являются нехватка квалифицированных кадров, неэффективная система управления и отсутствие стимулов к конкурентному развитию, устаревшие бизнес-модели и нехватка финансовых средств.

Таблица 37. Приоритизация барьеров, препятствующих разработке новых технологий на рынках «Технет» НТИ (количество ответов)

	Низкая	Ниже среднего	Средняя	Высокая	Очень высокая
Нехватка квалифицированных кадров	1	5	4	17	28
Проблемы развития системы образования	2	8	10	16	19
Неэффективная система управления	3	5	8	15	24
Устаревшие бизнес-модели	5	2	12	15	21
Устаревшие стандарты и нормативное правовое обеспечение	1	7	12	18	17
Нехватка финансов	1	7	16	14	17
Специфика культуры деятельности, отсутствие личной мотивации	7	9	16	9	14
Износ или нехватка производственных ресурсов, в том числе инфраструктуры	1	10	13	22	9
Отсутствие стимулов к конкурентному развитию	4	10	10	12	19
Социально-политические факторы	8	13	15	9	10
Высокие затраты на внедрение новых производственных технологий	1	9	18	16	11

Источник: Ассоциация «Технет», Центр НТИ СПбПУ

Менее актуальны такие барьеры, как устаревшие стандарты и нормативное правовое обеспечение, износ или нехватка производственных ресурсов, в том числе инфраструктуры. На третьем месте по важности – высокие затраты на внедрение новых производственных технологий, социально-политические факторы, специфика культуры деятельности, отсутствие личной мотивации.

Сходная ситуация наблюдается в ходе приоритизации барьеров, препятствующих внедрению новых технологий на рынках «Технет» НТИ.

Ключевые барьеры – нехватка квалифицированных кадров, неэффективная система управления и устаревшие бизнес-модели. Также «очень высокая» значимость у таких барьеров, как устаревшие стандарты и нормативное правовое обеспечение и нехватка финансов.

Таблица 38. Приоритизация барьеров, препятствующих внедрению новых технологий на рынках «Технет» НТИ (количество ответов)

	Низкая	Ниже среднего	Средняя	Высокая	Очень высокая
Нехватка квалифицированных кадров	1	2	9	7	36
Проблемы развития системы образования	3	8	15	15	14
Неэффективная система управления	0	5	8	16	26
Устаревшие бизнес-модели	2	3	9	17	24
Устаревшие стандарты и нормативное правовое обеспечение	0	4	12	19	20
Нехватка финансов	1	5	12	17	20
Специфика культуры деятельности, отсутствие личной мотивации	8	6	16	14	11
Износ или нехватка производственных ресурсов, в том числе инфраструктуры	1	7	12	26	9
Отсутствие стимулов к конкурентному развитию	3	8	16	13	15
Социально-политические факторы	6	15	10	15	9
Высокие затраты на внедрение новых производственных технологий	1	5	13	22	14

Источник: Ассоциация «Технет», Центр НТИ СПбПУ

Менее высокая значимость у таких барьеров, как высокие затраты на внедрение новых производственных технологий, проблемы развития системы образования, социально-политические факторы.

На третьем месте такие барьеры, как специфика культуры деятельности, отсутствие личной мотивации, а также отсутствие стимулов к конкурентному развитию.

Выводы

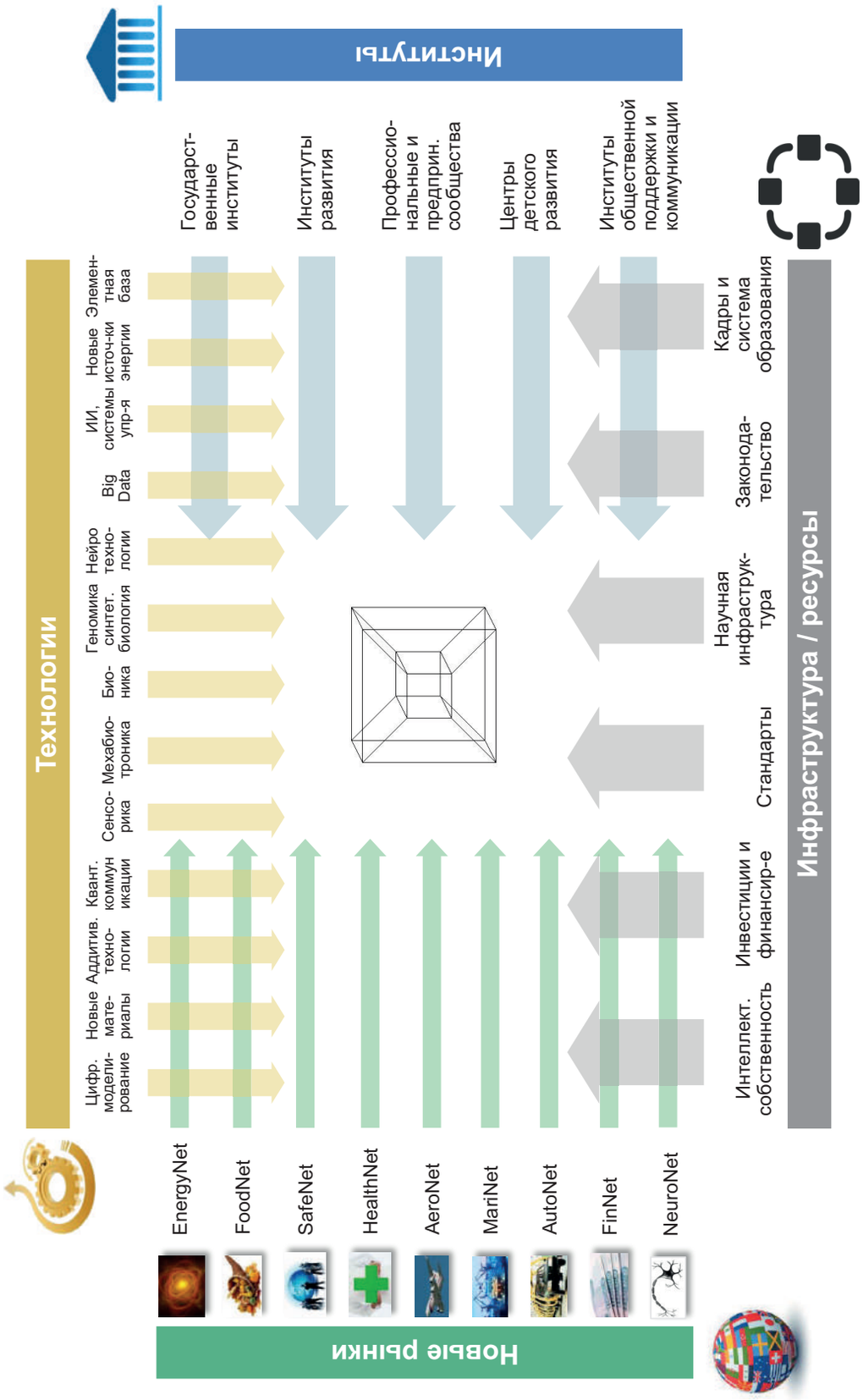
По результатам опроса респонденты высоко оценивают значимость рынков «Технет» НТИ. Согласно оценкам экспертов, наибольшую роль в развитии этих рынков играют рыночные факторы, а также технологическая и цифровая трансформация.

Приоритизация рынков выявила высокую значимость технологий цифрового проектирования и моделирования, а также промышленного Интернета вещей в 2019 году, к 2024 году вырастет значимость рынка промышленной сенсорики, CNC и гибридных технологий, а также больших данных.

Ключевыми барьерами для разработки / внедрения технологий на рынках «Технет» НТИ являются нехватка кадров, неэффективная система управления, отсутствие стимулов к конкурентному развитию и устаревшие бизнес-модели.

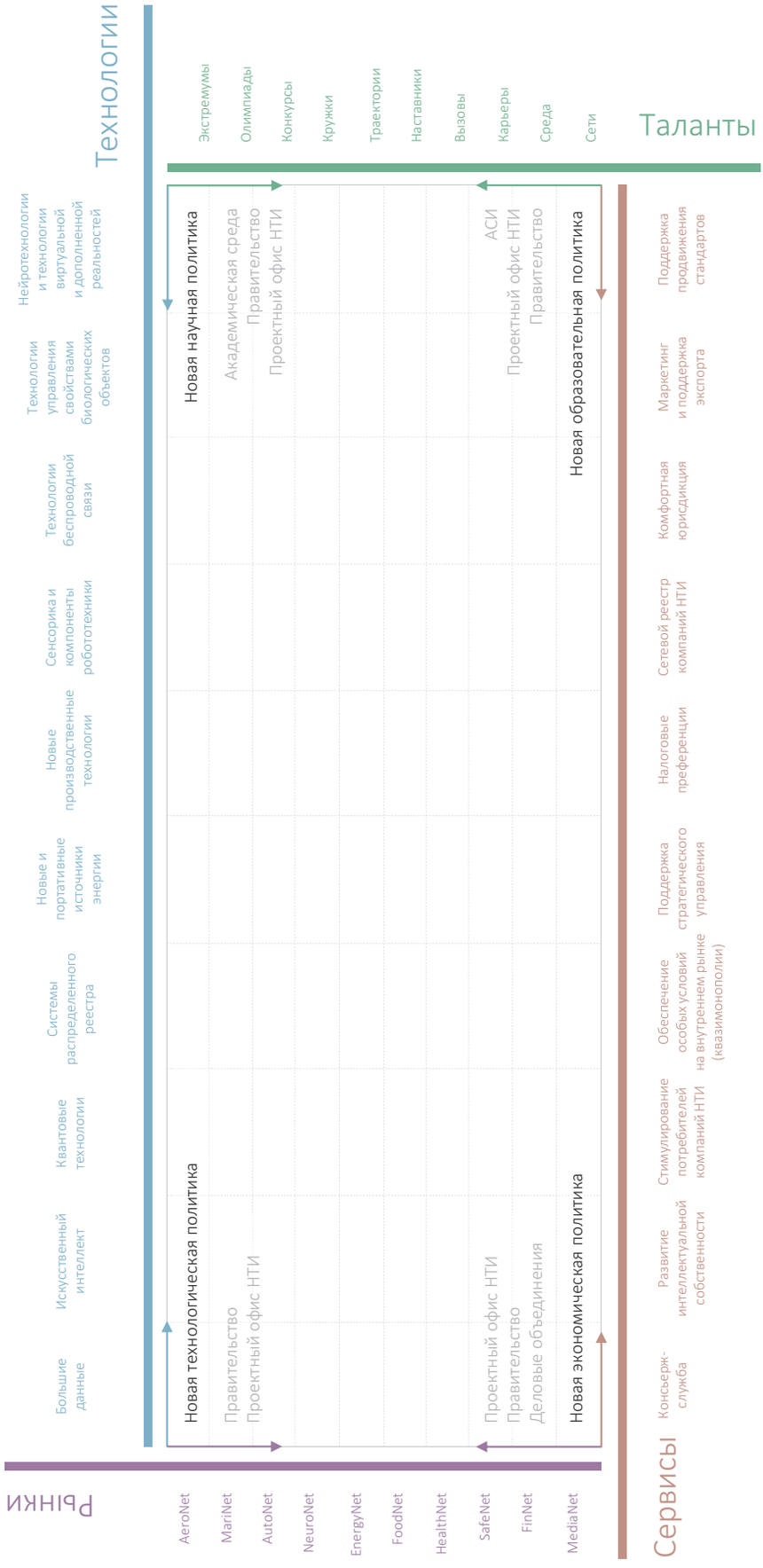
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. МАТРИЦЫ НТИ

Рисунок 160. Матрица Национальной технологической инициативы (май 2015 г.)



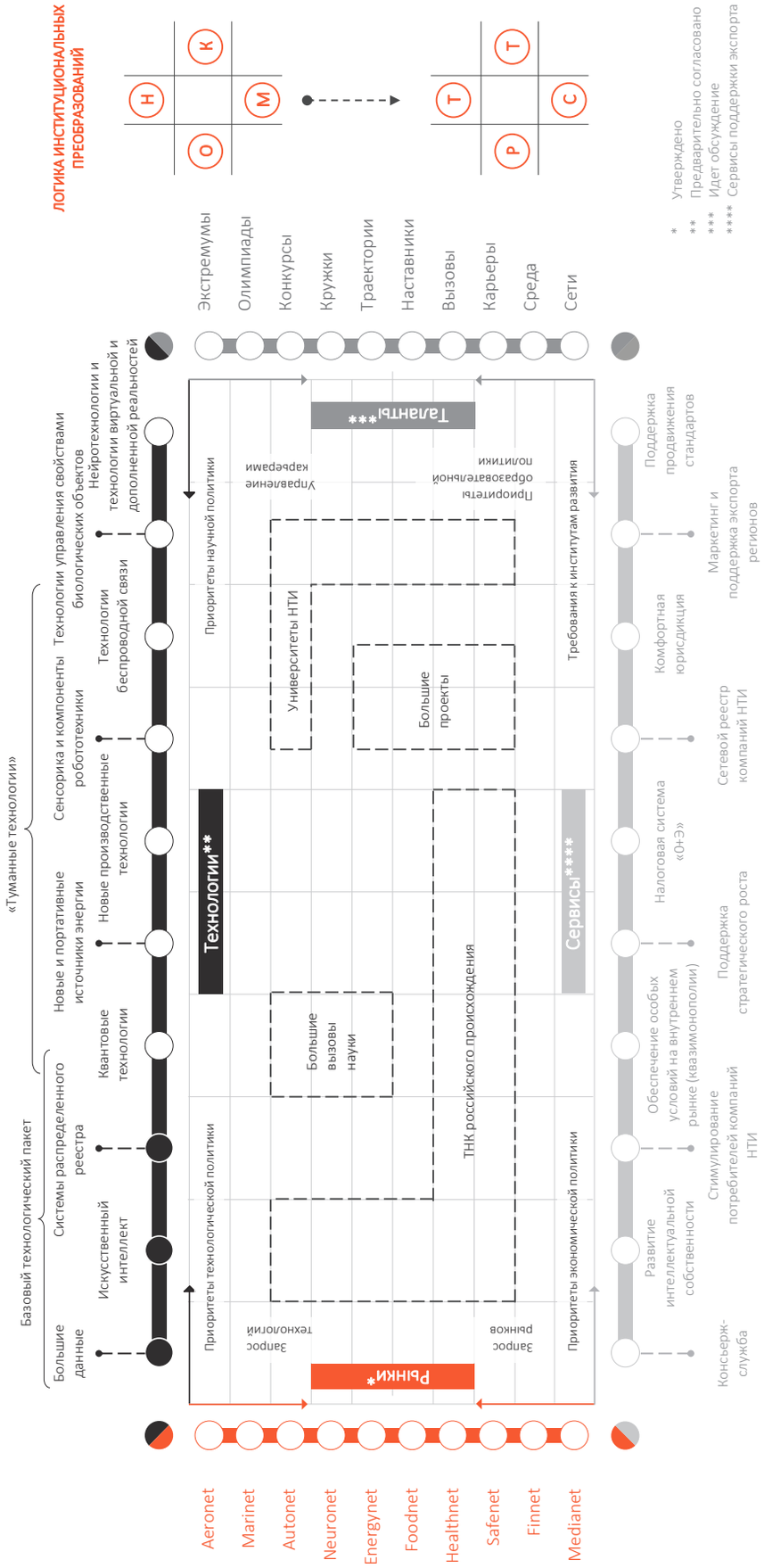
Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам НТИ [499]

Рисунок 161. Матрица Национальной технологической инициативы (май 2016 г.)



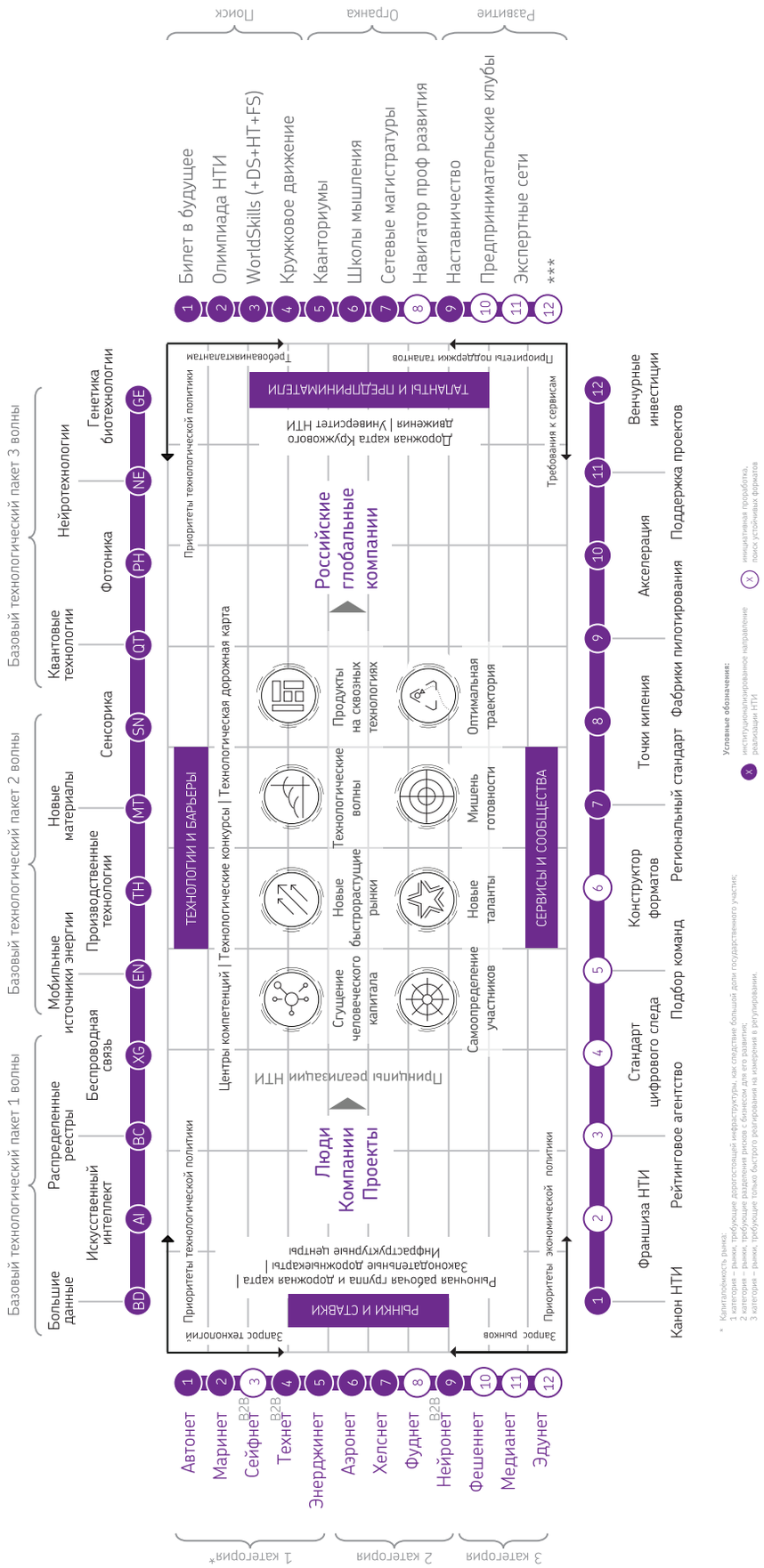
Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам НТИ [167]

Рисунок 162. Матрица Национальной технологической инициативы (июнь 2016 г.)



Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам НТИ [500]

Рисунок 163. Матрица Национальной технологической инициативы (ноябрь 2018 г.)



Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам НТИ [501]

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПЕРЕЧЕНЬ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ И СОЦИАЛЬНЫХ БАРЬЕРОВ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.1. Барьеры, обусловленные недостаточным пониманием тенденций развития науки и технологий или социальным неприятием после внедрения				
1.1.1	Недостаточное понимание тенденций развития науки и технологий	Все	Недостаточный уровень исследованности отраслевых рынков продукции (например, рынка гражданской метеорологической продукции), требующих вложения значительных средств на проведение маркетинговых исследований, а также значительных временных затрат	Организованы на федеральном уровне исследования основных рыночных (отраслевых) направлений с предоставлением доступа к результатам данных исследований профильным предприятиям (организациям)
1.1.2	Недостаточное понимание тенденций развития науки и технологий	Все	Невозможность прямого финансирования расходной статьи «промышленный дизайн»	Закреплено на законодательном уровне понятие «промышленный дизайн». Обеспечена возможность включать строку «промышленный дизайн» в расходы по проектам. Разработан инструмент субсидирования промышленных компаний по данному направлению разработок
1.1.3	Недостаточное понимание тенденций развития науки и технологий	Все	Продолжительный (около 2 лет) срок патентования продукции, рассмотрения заявочной документации на заключение лицензионных договоров на предоставление права использования результатов интеллектуальной деятельности, права на которые принадлежат Российской Федерации	Сокращен срок оказания услуг в области патентного права, сокращен срок рассмотрения заявочной документации на заключение лицензионного договора

42 Согласно национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» и государственной программе Национальной технологической инициативе.

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.1.4	Недостаточное понимание тенденций развития науки и технологий	Новые производственные технологии	Отсутствие предиктивного анализа работы сложных технических систем	Введено законодательное правило на поставку сложных технических систем ответственного назначения со сроком службы более 20 лет только при наличии цифрового моделирования их жизненного цикла, согласованного с соответствующими надзорными органами и эксплуатирующими организациями
1.1.5	Недостаточное понимание тенденций развития науки и технологий	Все	При текущем уровне развития технологий акцент в функционировании системы управления разработками сделан на выполнении участниками работ регламентированного объема работ на каждой стадии жизненного цикла изделия. При этом отсутствуют общие для всех участников работ цели и не проводится анализ влияния оперативных решений на следующие стадии процесса разработки, так как они выполняются другими участниками. Отсутствие возможности «сквозного» проектирования и управления проектом заказчиком и головным исполнителем, вытекающая из характера и структуры организации государственной закупки, влечет за собой рост совокупных расходов на создание, эксплуатацию и утилизацию инновационных продуктов	Проводится анализ влияния оперативных решений на одной стадии жизненного цикла на следующие стадии процесса разработки, выполняемые другими участниками проекта. Выполняется «сквозное» проектирование и управление проектом заказчиком и головным исполнителем проекта
1.1.6	Социальное неприятие применения методик дистанционной коррекции лекарственной терапии	Технологии управления свойствами биологических объектов	Отсутствие нормативно-законодательной базы в части оказания медицинских услуг в дистанционной форме	Проведены разъяснительные мероприятия, позволяющие устранить барьеры для создания, развития и продвижения передовых технологий. Внесены изменения в нормативную базу в части оказания медицинской помощи в дистанционной форме в полном объеме

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.1.7	Социальное неприятие внедрения технологий направления «Биомедицина» (клеточной инженерии для проектирования и сборки биопрепаратов и биоинженерных организмов, трансплантации биоинженерных органов и тканей, трансплантации биоинженерных органов, включая использование органов и тканей сверх-гуманизированных животных), создания биобанков тканей и клеточных продуктов)	Технологии управления свойствами биологических объектов	Отсутствие национальных стандартов, регулирующих стандартизацию и технологию биомедицины, устанавливающих единые требования для ведения реестра стандартных протоколов клеточной инженерии для проектирования и сборки биопрепаратов и биоинженерных механизмов. Отсутствие стандартов по регулированию, стандартизации, сертификации биобанков, инфраструктуры их взаимодействия с внешними организациями	Проведены мероприятия, направленные на снижение социального неприятия после внедрения передовых технологий. Внесены изменения в нормативную базу по направлению «Биомедицина». Разработаны стандарты, касающиеся применения биоинженерных органов и тканей, использования биобанков
1.1.8	Социальное неприятие внедрения технологий «Медицинская генетика»	Технологии управления свойствами биологических объектов	Отсутствие стандартов в части технологий молекулярно-генетической диагностики	Проведены мероприятий, направленные на снижение социального неприятия от внедрения технологий медицинской генетики. Разработаны необходимые стандарты, а также составлены предложения по внесению изменений в нормативно-правовую базу для поддержки разработки и серийного производства новых продуктов на основе генактивированных материалов и геннотерапевтических продуктов
1.1.9	Социальное неприятие внедрения новых производственных технологий	Новые производственные технологии	Барьеры, вызванные опасениями, что новые технологии можно будет использовать для слежки за людьми	Проведены мероприятия, направленные на снижение социального неприятия внедрения новых производственных технологий, связанных с созданием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), сканеров, биометрических баз данных и т.д.

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.2. Барьеры, обусловленные устаревшим законодательством и (или) ограничениями, обусловленными техническим регулированием				
1.2.1	Неподготовленность российских компаний к применению новых производственных технологий	Новые производственные технологии (цифровое проектирование и моделирование)	Отсутствие национальных стандартов, определяющих требования к оформлению, учету, хранению и обмену цифровой (электронной) проектно-конструкторской документации	Программные комплексы и услуги на основе методик цифрового проектирования и оптимизации производственных процессов, оцифровка существующих и перспективных производств. Упрощены процедуры оформления, учета, хранения, обмена цифровой документации, установление единых форматов ее подготовки
1.2.2	Недостаточное понимание тенденций развития науки и технологий	Новые производственные технологии	Отсутствие национальных стандартов, устанавливающих требования к модели данных изделия на этапах жизненного цикла и требований к форматам данных электронных конструкторских и технологических документов	Сформирована библиотека национальных стандартов по приоритетным направлениям развития науки и технологий, устанавливающих требования к единым форматам представления информации об изделии
1.2.3	Неподготовленность российских компаний к применению новых производственных технологий	Новые производственные технологии (цифровое проектирование и моделирование)	Отсутствие правил хранения и архивации цифровой (электронной) документации, в том числе с целью обеспечения условий долговременного хранения результатов интеллектуальной деятельности в цифровом (электронном) виде	Актуализированы правила хранения и архивации цифровой (электронной) документации, в том числе с целью обеспечения условий долговременного хранения результатов интеллектуальной деятельности в цифровом (электронном) виде
1.2.4	Неподготовленность российских компаний к применению новых производственных технологий	Новые производственные технологии	Необходимость предоставлять расчетно-конструкторскую документацию в бумажном виде	Разработаны процедуры по отказу от бумажного носителя в качестве основного средства хранения документации
1.2.5	Неподготовленность российских компаний к применению новых производственных технологий	Новые производственные технологии (цифровое проектирование и моделирование)	Отсутствие возможности принятия решений уполномоченными органами на основании результатов вычислительных экспериментов вместо натурных испытаний, включая отсутствие порядка предъявления результатов виртуальных испытаний, методов определения соответствия, программ испытаний, требований к сертификационным центрам	Сокращение сроков подтверждения соответствия для инновационной продукции (изделий), требования к которым не регламентированы действующими актами технического регулирования

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.2.6	Неподготовленность российских компаний к применению новых производственных технологий	Новые производственные технологии (информационные системы управления предприятием)	Отсутствие программы стандартизации в области интеллектуальной энергетики, включающей разделы по цифровым измерителям тока и напряжения, интеллектуальным контроллерам присоединений, интеллектуальным приборам учета, интеллектуальным коммутационным аппаратам, интеллектуальным комплектным устройствам, интеллектуальным подстанциям, интеллектуальным системам мониторинга, информационным моделям сети, протоколам и каналам передачи данных, системам управления, требования к топологии и алгоритмам управления распределительных сетей, требования к схемным решениям по подстанциям распределительных сетей по классам напряжения, а также терминологические справочники	Разработана программа стандартизации в области интеллектуальной энергетики. Разработаны регламенты, определяющие требования к обслуживанию интеллектуального оборудования (цифровые подстанции, коммутационные аппараты, комплектные распределительные устройства, контроллеры присоединений, приборы учета, информационные системы)
1.2.7	Неподготовленность российских компаний к применению новых производственных технологий	Новые производственные технологии (новые материалы)	Отсутствие правил и требований к высокоответственным конструкциям с применением новых (композиционных) материалов. Отсутствие методик экспериментальной верификации моделей, процессов, изделий и компонентов	Внедрена новая парадигма сертификации продукции, полученной с использованием новых (передовых) производственных технологий, обеспечивающей минимизацию временных и материальных затрат на сертификацию. Создана система натурных и виртуальных испытаний в обеспечение поддержки отраслевых испытательных лабораторий в части разработки методик испытаний новых композиционных материалов и изделий из них, разработки виртуальных испытательных стендов, обеспечивающих сокращение объемов натурных испытаний инновационных изделий

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.2.8	Неподготовленность российских компаний к применению технологии «большие данные»	Большие данные	Отсутствие национальных стандартов в области технологии «большие данные»	Формирование фонда национальных стандартов, достаточного для использования в Российской Федерации, нормативно регулирующего технологию «большие данные», включая соответствующую терминологию
1.2.9	Неподготовленность российских компаний к использованию технологии «промышленный (индустриальный) Интернет», «Интернет вещей»	Промышленный Интернет вещей	Отсутствие национальных стандартов в области технологии «промышленный (индустриальный) Интернет вещей»	На базе технического комитета по стандартизации ТК № 194 «Киберфизические системы» разработаны национальные стандарты в области технологий «промышленный (индустриальный) Интернет вещей»
1.2.10	Неподготовленность российских компаний к использованию технологии «робототехника»	Компоненты робототехники и сенсорика	Отсутствие технических стандартов и нормативно-правового обеспечения по использованию спутниковых данных, систем мониторинга, подводной робототехники, средств подводного позиционирования и связи	Отсутствуют законодательные ограничения по использованию и распространению геоинформационных данных, использования подводной робототехники, безэкипажного судоходства, средств подводного позиционирования и связи. Российские стандарты гармонизированы с требованиями и стандартами International Maritime Organization
1.2.11	Неподготовленность российских компаний к использованию технологии «робототехника»	Компоненты робототехники и сенсорика	Отсутствие требований, порядка и процедур проведения сертификации (подтверждения соответствия) разработчиков, изготовителей и эксплуатантов беспилотных авиационных систем (БАС), посадочных площадок, юридических лиц, обеспечивающих безопасность полетов	Созданы регулятивные условия для регистрации и сертификации (подтверждения соответствия) БАС, их компонентов, производственных процессов, эксплуатантов и сопутствующей инфраструктуры. Созданы регулятивные условия для развития безопасности полетов БАС
1.2.12	Неподготовленность российских компаний к использованию нейротехнологий, технологий виртуальной и дополненной реальности	Нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальности	Отсутствие стандартов для технологии диагностики и лечения заболеваний нервной системы (фобий, депрессий, деменций) с помощью технологий виртуальной и дополненной реальности с высокой долей эффективности	Разработаны стандарты, внесены изменения в нормативно-правовые акты, регламентирующие применение технологий виртуальной и дополненной реальности в лечении заболеваний нервной системы

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.2.13	Неподготовленность российских компаний к использованию передовых технологий	Все	Отсутствие условий для проведения модернизации изделий в части, не затрагивающей существенные требования к изделию, включая требования по безопасности	Введен уведомительный порядок внесения изменений в регистрационные документы на изделия, не затрагивающие существенные требования к изделию, включая требования к безопасности
1.2.14	Устаревшее законодательство и (или) ограничения, обусловленные техническим регулированием	Все	Барьеры, связанные с хозяйственной деятельностью предприятия	Процессы легализации инновационной продукции (государственная регистрация, оценка соответствия, сертификация, подтверждение качества, соответствия), обращения инновационной продукции на рынках (запреты и ограничения), выхода на рынки участников производства инновационной продукции (отсутствие норм), адаптированы с учетом специфики инновационной сферы. Созданы центры ускоренной сертификации продукции и услуг. Внесены изменения в законодательство в части патентного права, касающиеся прав на использование ноу-хау
1.2.15	Устаревшее законодательство и (или) ограничения, обусловленные техническим регулированием	Все	Длительные сроки таможенного оформления грузов, в том числе уникальных научных установок	Предоставлены преференции и льготы в области требований, связанных с таможенным оформлением и сертификацией ввозимых на территорию Российской Федерации уникальных научных разработок
1.3. Барьеры, обусловленные ожидаемыми существенными изменениями образа жизни человека и глобальными сдвигами на рынке труда				
1.3.1	Изменение образа жизни человека	Технологии управления свойствами биологических объектов	Сохранение спроса на традиционные источники энергии, приводящее к истощению природных ресурсов и увеличению количества CO_2 в атмосфере. Квоты на некоторые виды биологических ресурсов (квоты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта, лимиты и квоты на добычу (вылов) водных биологических ресурсов, квоты на экспорт продукции из отдельных видов водных биологических ресурсов)	Развитие рынка интеллектуальной распределенной энергетики, возобновляемых источников энергии

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.3.2	Изменение образа жизни человека	Новые и портативные источники энергии	Нарастание частоты опасных природных явлений и деградация вечной мерзлоты, способствующей увеличению себестоимости нефти	Извлекается выгода от использования новых климатических условий (например, использование возобновляемых источников энергии)
1.3.3	Изменение образа жизни человека	Все	Неравномерный доступ регионов и социальных групп к передовым технологиям, рост социального неравенства	Повышена доступность удаленных территорий и качество жизни проживающего там населения за счет развития «сквозных» технологий цифровой экономики
1.3.4	Глобальные сдвиги на рынке труда	Все	Современные демографические тенденции (увеличение численности населения в ближайшие 50 лет, «старение» населения, увеличение доли городского населения)	Вовлечение стареющего населения в активную экономическую деятельность при помощи использования новых технологий
1.3.5	Глобальные сдвиги на рынке труда		Отсутствие узкоспециализированных курсов по повышению квалификации инженерно-технического персонала	Разработаны и внедрены курсы повышения квалификации инженерно-технического персонала
1.3.6	Глобальные сдвиги на рынке труда	Все	Отсутствие достаточного количества специалистов, обладающих подготовкой по сертификации инновационной продукции. Отсутствие профессиональных стандартов для специалистов по передовым технологиям, например, в области интеллектуальной энергетики, БАС и т.д.	Высокий уровень (качественный и количественный) кадрового обеспечение в области сертификации материалов и изделий нового качества. Разработаны и внедрены новые профессиональные стандарты по передовым технологиям
1.3.7	Изменение образа жизни человека	Технологии управления свойствами биологических объектов	Недостаточное внедрение передовых технологий в таких сферах, как медицина	Разработана нормативно-правовая база, стандартов работы с данными для внедрения технологий телемедицины. Пациентам лечебных учреждений предоставлена возможность получения медицинской помощи посредством информационно-коммуникационных технологий (электронные рецепты, дистанционный мониторинг и консультации пациентов)

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.4 Барьеры, обусловленные экономическими барьерами, в том числе рисками, связанными с изменением конкурентных позиций на рынке и рисками перераспределения рынка в целом				
1.4.1	Изменение конкурентных позиций на рынке	Все	Недостатки федеральной контрактной системы, препятствующие использованию передовых технологий (риски привлечения государственных заказчиков к ответственности за установление «завышенных» начальных максимальных цен контрактов в случаях снижения себестоимости за счет применения новых технологий; трудности при получении статуса единственного поставщика, затрудненный доступ на рынки закупок для государственных и муниципальных нужд и т.д.)	Федеральная контрактная система адаптирована под изменения на рынке, касающиеся использования новых технологий, обеспечивающих повышение качества и снижение цены создаваемой продукции в ходе выполнения контрактов. Снижены риски привлечения государственных заказчиков к ответственности за установление «завышенных» начальных максимальных цен контрактов в случае снижения себестоимости за счет применения новых технологий. Усовершенствован процесс закупки, включая конкурсные процедуры, котировки и получение статуса единственного производителя при заказе продукции с применением новых технологий, в том числе путем внедрения в критерии конкурсного отбора оценки компетенций участников конкурсных процедур в сфере применения новых технологий
1.4.2	Изменение конкурентных позиций на рынке	Все	Невозможность участия в конкурсных процедурах, основанных на учете опыта, которого участники инновационных рынков могут не иметь	Конкурсные процедуры адаптированы с учетом возможностей участников – инноваторов без опыта
1.4.3	Риск перераспределения рынка	Все	Риск хозяйствующего субъекта, осуществляющего использование новых технологий и разработку инновационной продукции	Определено в качестве объекта страхования страхование ответственности сертифицирующего органа в результате исполнения им обязанности по сертификации инновационной продукции
1.4.4	Изменение конкурентных позиций на рынке и риск перераспределения рынка в целом	Все	Риски для хозяйствующих субъектов при разработке, производстве и выводе на рынок инновационной продукции, в том числе при использовании усовершенствованных деталей, узлов или компонентов во внедренной продукции	Нарушения, связанные с сертификацией и эксплуатацией новых технологий и инновационной продукции, при отсутствии причинения тяжкого вреда здоровью и имуществу, декриминализованы

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.4.5	Изменение конкурентных позиций на рынке и риск перераспределения рынка в целом	Все	Отсутствие запрета на указание в закупочной документации характеристик материала вместо его функциональных свойств	Установлен запрет на указание в закупочной документации вида материала, изделия, деталей и узлов вместо функциональных свойств (характеристик) материала, что ведет к росту конкуренции, снижению закупочных цен
1.4.6	Изменение конкурентных позиций на рынке и риск перераспределения рынка в целом	Все	Отсутствие механизмов экономического стимулирования применения поставщиками передовых технологий при выполнении государственных контрактов	Созданы условия (механизмы) для применения передовых технологий при выполнении государственных контрактов. Установлено неснижение предусмотренной контрактом цены в случае снижения себестоимости продукции. В себестоимости продукции учитываются затрат на разработку и применение передовых технологий
1.4.7	Изменение конкурентных позиций на рынке и риск перераспределения рынка в целом	Все	Невозможность признания расходов на доработку и настройку (адаптацию) программного продукта (программного обеспечения), понесенных налогоплательщиком после ввода нематериального актива (НМА) в эксплуатацию	В Налоговом кодексе Российской Федерации закреплена возможность увеличения первоначальной стоимости НМА в результате доработки и адаптации последнего. Внесены изменения в законодательную базу в части уменьшения срока амортизационных отчислений по высокотехнологическим средствам производства
1.4.8	Изменение конкурентных позиций на рынке и риск перераспределения рынка в целом	Все	Продолжительный срок амортизационных отчислений по высокотехнологичным средствам производства	Внесены изменения в части уменьшения срока амортизационных отчислений в Налоговый кодекс Российской Федерации, Приказ Минфина РФ от 30 марта 2001 г. N 26н "Об утверждении Положения по бухгалтерскому учету "Учет основных средств" (ПБУ 6/01) [13] и другие нормативные документы

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.5. Барьеры, обусловленные отсутствием необходимой производственной, компонентной базы, способов и механизмов ее создания				
1.5.1	Отсутствие необходимой производственной, компонентной базы, способов и механизмов ее создания	Все	Отсутствие электронных технических архивов, отраслевых банков данных по хранению данных (например, конструкционной прочности материалов, в том числе образцов-свидетелей деталей, полученных из композитных материалов и методами аддитивного производства, отраслевых номенклатурных каталогов промышленного технологического оборудования	Обеспечен доступ хозяйствующих субъектов к необходимым электронным техническим архивам и электронным базам данных. Ежегодно переиздаются отраслевые номенклатурные каталоги промышленного технологического оборудования, выпускаемого на территории таможенного союза с ценами в рублях
1.5.2	Отсутствие необходимой производственной, компонентной базы, способов и механизмов ее создания	Все	Отсутствие отраслевых методик автоматизированного проектирования с оптимизацией конструкций деталей и узлов по их ключевым параметрам (прочность, масса, КПД и т.д.), регулярно обновляемой федеральной базы инновационных технологий (решений) и предприятий-производителей, находящейся в свободном доступе у разработчиков, что приводит к использованию устаревших технических решений в конструкции и устаревших технологий в производстве; Регулярно обновляемой единой базы отечественных радиоэлектронных компонентов, разрабатываемых в рамках импортозамещения, что приводит к отсутствию у разработчика сведений о перспективных отечественных компонентах.	Отраслевыми институтами совместно с предприятиями отраслей разработаны и внедрены отраслевые методики автоматизированного проектирования с оптимизацией конструкции деталей и узлов по их ключевым параметрам. Разработаны и внедрены регулярно обновляемые единые отечественные базы инновационной продукции в целях снижения материальных и временных затрат разработчиков.

№	Описание выявленного риска	«Сквозная» технология[42]	Барьер	Ожидаемый результат устранения барьера
1.5.3	Отсутствие необходимой производственной, компонентной базы, способов и механизмов ее создания	Все	Отсутствует процедура переноса оригинальной электронной подписи на документах, которые подвергаются архивированию и длительному хранению (например, на авиационные двигатели - до 30 лет)	Регламентирована процедура переноса оригинальной цифровой подписи на документации длительного хранения
1.5.4	Отсутствие необходимой производственной, компонентной базы, способов и механизмов ее создания	Новые производственные технологии	Устаревшие трудовые нормативы времени при изготовлении продукции на современных станках и станках с числовым программным управлением (ЧПУ)	Пересмотрены трудовые нормативы времени при работе на современных станках и станках с ЧПУ
1.5.5	Отсутствие необходимой производственной, компонентной базы, способов и механизмов ее создания	Новые производственные технологии	Отсутствие отечественных систем по разработке электронных блоков радиоаппаратуры (ECAD системы, аналог AltiumDesigner, MentorGraphic); по моделированию систем управления и генерации исполняемых кодов (аналог Matlab/ Simulink); числового программного управления станками с ЧПУ, роботами (аналог Sinumeric, HeidenHain); управления и программирования контрольно-измерительной аппаратуры; проведения мультифизических инженерных расчетов (CAE системы типа Ansys, Nastran); по разработке и расчету оптических систем как в воздушных средах, так и в вакууме (аналог Zemax, Code V); электронных справочников отечественных электро-радио-элементов для использования в российских PDM системах; коллективной разработки программного обеспечения (типа Microsoft Visual Studio). Существующие отечественные системы решают только часть задач зарубежных аналогов.	Разработаны отечественные системы с полным функционалом и возможностями

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ТЕРМИНОЛОГИЯ ИЗ ГОСТ Р ПО СМЕЖНЫМ С ПЕРЕДОВЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ТЕМАТИКАМ

Аспект моделирования: Отдельное свойство или совокупность свойств объекта моделирования, являющихся предметом исследования с помощью моделирования.
Источник: ГОСТ Р 57412–2017, пункт 3.1.3

База данных, БД (Data base): Совокупность данных, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными, независимая от прикладных программ.
Источник: ГОСТ 20886–85, пункт 6

База данных, БД (database): Совокупность данных, хранимых в соответствии со схемой данных, манипулирование которыми выполняют в соответствии с правилами средств моделирования данных.
Источник: ГОСТ 33707–2016 (ISO/IEC 2382:2015), пункт 4.77

Базовый эксперимент; БЭ (basic experiment): Натурный эксперимент (или система экспериментов), позволяющий получить экспериментальные данные, необходимые для определения параметров определяющих соотношений, уравнений состояния и критериев разрушения составляющих МПМ.
Источник: ГОСТ Р 57700.7–2018, пункт 3.13

Безопасность данных (data security): Защита данных и программ от несанкционированного доступа к ним, осуществляемого с целью раскрытия, изменения или разрушения данных.
Источник: ГОСТ 33707–2016 (ISO/IEC 2382:2015), пункт 4.90

Бизнес-процесс (business-process): Совокупность логически упорядоченных и взаимосвязанных работ и/или деятельностей, действий (функций, операций), выполняемых в объективной реальности должностными лицами и подразделениями (организационной структурой) организации (социотехнической системы) для получения требуемого/желаемого конечного результата, обеспечивающего: достижение бизнес-цели, решение поставленной задачи, реализацию программы и достижение в конечном итоге стратегических целей системы.
Источник: ГОСТ Р 57700.3–2017, пункт 3.2.2

Валидация (validation): Подтверждение (на основе представления объективных свидетельств) того, что заданные требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены.
Источник: ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207:2010 2, пункт 4.54*
Примечание – Валидация в контексте жизненного цикла представляет собой совокупность действий, гарантирующих и обеспечивающих уверенность в том, что система способна реализовать свое предназначение, текущие и перспективные цели.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.1.49

Валидация математической модели (mathematical model validation): Подтверждение адекватности математической модели моделируемому объекту.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.5

Валидация программного обеспечения компьютерного моделирования (ПО КМ): Процесс определения соответствия ПО КМ (компьютерной модели, программы) реальному миру. Валидация обеспечивает обоснование того, что ПО КМ в заявленной области применения позволяет правильно и с определенной точностью моделировать реальные процессы.
Источник: ГОСТ Р 57700.2, пункт 3.1.4

Валидация численной расчетной модели; ВЛЧРМ (validation of numerical simulation model): Процедура подтверждения адекватности ЧРМ поведению моделируемого объекта при ударном нагружении.
Источник: ГОСТ Р 57700.7–2018, пункт 3.12

Верификация (verification): Подтверждение, на основе представления объективных свидетельств, того, что заданные требования полностью выполнены.
Примечание – Верификация в контексте жизненного цикла представляет собой совокупность действий по сравнению полученного результата жизненного цикла с требуемыми характеристиками для этого результата. Результатами жизненного цикла могут являться (но не ограничиваться ими): заданные требования, описание проекта и непосредственно система.
Источник: ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207:2010, пункт 4.55

Верификация математической модели (mathematical model verification): Подтверждение корректности решения уравнений математической модели.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.4

Верификация программного обеспечения компьютерного моделирования (ПО КМ): Процесс определения соответствия ПО КМ (компьютерной модели, программы) математической модели. Верификация обеспечивает обоснование того, что ПО КМ при определенных параметрах рассчитывает математическую модель правильно и с соответствующей точностью.
Источник: ГОСТ Р 57700.2, пункт 3.1.3

Вторичные экспериментальные данные; ВЭД (secondary experimental data): Совокупность данных, получаемых посредством обработки первичных экспериментальных данных (ПЭД).
Источник: ГОСТ Р 57700.7–2018, пункт 3.20

Данные (data): Информация, обработанная и представленная в формализованном виде для дальнейшей обработки.
Источник: ГОСТ Р 7.0–99, пункты 3.2.1.2 и 3.8.2

Дискретизация исходной задачи: Переход от задачи с функциями от непрерывного аргумента к задаче с функциями от дискретного аргумента.
Источник: ГОСТ Р 57700.14–2018, пункт 3.11

Дискретная задача: Задача, полученная дискретизацией исходной задачи.
Источник: ГОСТ Р 57700.14–2018, пункт 3.12

Достоверность: Качество, характеризующее доверие или убежденность в результатах расчета и моделирования.
Источник: СТО СИТИС–201–16А, пункт 2.4.14

Жизненный цикл (life cycle): Процесс развития объекта (системы) от зарождения идеи до вывода из эксплуатации. Жизненный цикл некоторых систем может иметь периодический характер.
Примечание – В зависимости от точки зрения участник жизненного цикла объекта видит свое множество состояний, объединенных в стадии.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.3.5

Защита данных (data protection): Техническая и социальная система мероприятий по согласованию, управлению и обеспечению неприкосновенности, конфиденциальности и защиты информации.
Источник: ГОСТ 33707–2016 (ISO/IEC 2382:2015), пункт 4.390

Знания (knowledge): Проверенные практикой результат системного подхода, выявленные свойства, характеристики и/или существенные связи, выраженные в языке или в какой-либо знаковой форме и представленные в виде информации.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.1.6

Имитационная модель (simulation based model): Частный случай математической модели процесса, явления, который представляет процесс с определенной точностью.
Примечание – имитационная модель обычно строится без знания реальной физики процесса или явления.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.2

Имитационная модель (simulation based model): Частный случай исполнения математической модели процесса, явления, который представляет процесс с определенной точностью; набор подобных исполнений позволяет выбрать требуемый вариант задания параметров процесса.
Источник: ГОСТ Р 57700.3–2017, пункт 3.4.4

Информационная модель: Модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде совокупности элементов данных и отношений между ними.
Примечание – Состав (номенклатура) данных определяется областью интреса разработчика модели и потенциального или реального пользователя.
Источник: ГОСТ Р 57412–2017, пункт 3.1.5

Информационная система (IS, information system): Система, организующая обработку информации о предметной области и ее хранение.
Источник: ГОСТ 33707–2016 (ISO/IEC 2382:2015), пункт 4.452

Информация (information): Сведения, воспринимаемые человеком и (или) специальными устройствами как отражение фактов материального или духовного мира в процессе коммуникации.
Источник: ГОСТ Р 7.0–99, пункт 3.1.19

Искусственный интеллект; AI (artificial intelligence, AI): Способность функционального блока выполнять функции, обычно ассоциирующиеся с интеллектом человека такие, как, например, рассуждения и обучение.
Источник: ГОСТ 33707–2016 (ISO/IEC 2382:2015), пункт 4.464

Итерация (iteration): Математическая операция, повторяемая многократно, при этом результат одной операции используется для выполнения последующей операции.
Примечание – Операции повторяются многократно, не приводя при этом к вызовам самих себя (в отличие от рекурсии).
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.1.15

Качество (quality): Степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта-системы требованиям.
Примечание – Совокупность всех тех и только тех свойств, которые характеризуют получаемые при потреблении объекта результаты (как желательные, положительные, так и нежелательные, отрицательные), но которые не включают в себя затраты денежных средств на его создание и потребление, т.е. в эту совокупность входят только те свойства, которые связаны с достигаемым при потреблении объекта результатом, но не входят свойства, связанные с обеспечивающими этот результат затратами.
Источник: ГОСТ Р ИСО 9000:2015, пункт 3.6.2

Качество конечно-элементной модели; КЭМ: Количественные оценки КЭМ, характеризующие как геометрическое совершенство элементов (априорные оценки до проведения численного моделирования), так и точность рассчитанного НДС (апостериорные оценки после проведения

численного моделирования). Для данных оценок разработчиком программного обеспечения компьютерного моделирования (ПО КМ) по результатам валидации должны быть сформированы как предельно допустимые, так и недопустимые уровни величин, характеризующих качество КЭМ.
Источник: ГОСТ Р 57700.10–2018, пункт 3.9

Коммуникация (communication): Управляемая передача информации между двумя или более лицами и (или) системами.
Источник: ГОСТ Р 7.0–99, пункт 3.1.20

Компьютерная модель (электронная модель): Модель, выполненная в компьютерной (вычислительной) среде и представляющая собой совокупность данных и программного кода, необходимого для работы с данными.
Источник: ГОСТ Р 57700.9- с ссылкой на ГОСТ 2.052–2015, пункт 3.1

Компьютерная модель изделия: Компьютерная модель, в которой объектом моделирования является изделие(ия).
Источник: ГОСТ Р 57412–2017, пункт 3.1.10

Компьютерное моделирование изделия: Моделирование, выполненное с использованием компьютерной модели изделия.
Примечание – Компьютерное моделирование изделия выполняют с целью получения данных, необходимых для принятия решений в процессах разработки, проектирования, производства, сопровождения эксплуатации и других задач в ходе жизненного цикла изделия.
Источник: ГОСТ Р 57412–2017, пункт 3.1.11

Конечно-элементная модель; КЭМ (сетка): совокупность элементов достаточно простой геометрической формы и конечных размеров, на которые сплошно разбита конструкция, для которой численно моделируется НДС.
Источник: ГОСТ Р 57700.10–2018, пункт 3.8

Конструктивно подобный образец; КПО (structural sample): Образец, имитирующий элемент конструкции и применяемый при проведении модельного валидационного эксперимента (МОВЭ).
Источник: ГОСТ Р 57700.7–2018, пункт 3.18

Контроль результатов компьютерного моделирования: Совокупность действий, результатом которых является подтверждение соответствия компьютерной реализации модели исходной математической или информационной модели.
Источник: ГОСТ Р 57412–2017, пункт 3.1.9

Конфигурация (configuration): Взаимосвязанные функциональные и физические характеристики продукции или услуги, установленные в информации о конфигурации продукции.
Источник: ГОСТ Р ИСО 9000:2015, пункт 3.10.6

Линейная математическая модель (linear mathematical model): Математическая модель, в которой независимые переменные входят в виде линейных комбинаций слагаемых.
Примечание – Сумма решений линейной математической модели также является решением.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.19

Массив данных (array): Конструкция данных, компоненты которой идентичны по своим характеристикам и перечисляются как значения функции от фиксированного количества целочисленных аргументов.
Примечание – Количество аргументов определяет размерность массива.
Источник: ГОСТ 33707–2016 (ISO/IEC 2382:2015), пункт 4.656

Математическая модель (mathematical model): Модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.1.2

Математическая модель (mathematical model): Модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений, отражающих те или иные физические закономерности системы.
Источник: ГОСТ Р 57700.3–2017, пункт 3.3.8

Математическая модель динамической системы (mathematical model of dynamical system): Система уравнений (как правило, дифференциальных), определяющих изменение состояния системы во времени.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.18

Математическая модель динамической системы (mathematical model of dynamical system): Система уравнений (как правило, интегро-дифференциальных), определяющих изменение состояния системы во времени.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, , пункт 2.2.5

Математическое моделирование (mathematical (numerical) simulation): Исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей.
Примечание – Процесс математического моделирования можно подразделить на пять этапов: первый – формулирование законов, связывающих основные объекты модели; второй – исследование математических задач, к которым приводит математическая модель; третий – верификация модели; четвертый – валидация модели; пятый – последующий анализ модели в связи с накоплением данных об изучаемых явлениях и модернизация модели.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.3

Материальный валидационный эксперимент; МАВЭ (material verification experiment): Натурный эксперимент (или система экспериментов), позволяющий получить экспериментальные данные, необходимые для ВМПМ.
Источник: ГОСТ Р 57700.7–2018, пункт 3.14

Метод конечных элементов (finite element method): Сеточный метод численного решения задач математической физики, в котором дискретизация исходных краевых задач производится на основе вариационных или проекционных методов при использовании специальных конечномерных подпространств функций, определяемых выбранной сеткой.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.3.6

Многомасштабное моделирование (multiscale simulation): Реализация математической модели, являющейся иерархией различных математических моделей, описывающих процессы разного масштаба по переменным фазового пространства (временного, пространственного и т.п.).
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.3.9

Многомасштабное моделирование (multiscale modelling): Моделирование объекта-системы, при котором для каждого масштаба или уровня иерархии используется свой метод или формулируется своя система уравнений, описывающая процессы для каждого масштаба в отдельности.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт2.4.46

Моделирование: Изучение свойств и/или поведения объекта моделирования, выполненное с использованием его моделей.
Источник: ГОСТ Р 57700.9–2018, пункт 3.1.3

Модель (model): Совокупность семантических и графических символов связей и отношений между ними, адекватно (согласно уровню, глубине и точности представления) описывающая некоторую рассматриваемую предметную область.
Источник: ГОСТ Р 57700.3–2017, пункт 3.3.9

Модель (model): Сущность, воспроизводящая явление, объект или свойство объекта реального мира.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, , пункт 2.1.1

Модель (model): Упрощенная объект-система, описывающая основные характеристики более сложной системы (реального объекта, процесса, явления).
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.1.9

Модель (изделия): Сущность, воспроизводящая свойства реального изделия.
Источник: ГОСТ 2.052–2015, пункт 3.1.5

Модель жизненного цикла (life cycle model): Цифровое представление физических и функциональных характеристик объекта-системы при помощи совокупности элементов и информации, структурная основа процессов и действий, относящихся к жизненному циклу объекта-системы, которая также служит в качестве общей ссылки для установления связей и взаимопонимания сторон в соответствии со средой и точкой зрения. Может служить коллективным ресурсом знаний об объекте-системе.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.3.7

Модельный валидационный эксперимент; МОВЭ (model validation experiment): Натурный эксперимент (или система экспериментов), позволяющий получить экспериментальные данные, необходимые для валидации численной расчетной модели (ВЛЧРМ).
Источник: ГОСТ Р 57700.7–2018, пункт 3.15

Модельный образец (эталонный); МО (model sample): Образец, применяемый при проведении материального валидационного эксперимента (МАВЭ).
Источник: ГОСТ Р 57700.7–2018, пункт 3.17

Нагрузки: Заданные силовые, кинематические и смешанные функции, действующие на модель, и обусловленные условиями работы.
Источник: ГОСТ Р 57700.10–2018, пункт 3.15

Нелинейная математическая модель (non-linear mathematical models): Математическая модель, для которой сумма двух произвольных решений не является решением.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.21

Область моделирования (расчетная область): Прообраз области действительного физического пространства, в котором вводится определенная система координат для описания точек области набором вещественных чисел, называемых координатами точек пространства. Предполагается, что область моделирования или часть ее подобластей заполнены сплошной средой, описываемой определенной замкнутой системой уравнений.
Примечание – Размерность пространства области моделирования определяется количеством чисел в координатном наборе. Возможны случаи одно-, двух- и трехмерных пространств. В области и на ее границах определяются или задаются функции, аргументами которых являются координаты (иногда определяемые как независимые переменные). Параметры, характеризующие состояние и движение сплошной среды, являются примерами таких функций. Область или ее подобласти могут быть подвижными – положение и размеры в пространстве меняются с течением времени. Иногда в качестве области моделирования рассматривают пространственно-временную область с еще одной дополнительной координатой – координ-

натой времени.
Источник: ГОСТ Р 57700.14–2018, пункт 3.3

Обработка информации (information processing): Совокупность операций, связанных с хранением, поиском, анализом, оценкой, воспроизведением информации с целью представления ее в виде данных, удобных для использования потребителями.
Источник: ГОСТ Р 7.0–99, пункт 3.2.1.3

Обратные задачи математического моделирования (backward problems): Получение параметров модели, которые определяют решение прямой задачи (т.е. собственно задачи математического моделирования при граничных условиях, начальных условиях и т.д.) при наложении некоторых условий на решение (например, поиск экстремума нормы решения).
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.3.10

Объект (object): Философская категория, обозначающая явление или процесс, на которые направлена предметно-практическая и познавательная деятельность субъекта (наблюдателя). При этом в качестве объекта может выступать и сам субъект.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.1.1

Объект моделирования: Явление, объект или свойство объекта реального мира.
Источник: ГОСТ Р 57412–2017, пункт 3.1.2

Параметр (governing parameter): Признак или величина, характеризующая какое-либо свойство объекта и принимающая различные значения.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.22

Параметр (parameter): Внутренняя характеристика объекта-системы, по которую можно включить в структуру оценки объекта-системы.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.1.10

Первичные экспериментальные данные; ПЭД (primary experimental data): Совокупность данных, получаемых средствами измерения при проведении материального валидационного эксперимента (МАВЭ), и/или модельного валидационного эксперимента (МОВЭ), и/или базового эксперимента (БЭ).
Источник: ГОСТ Р 57700.7–2018, пункт 3.19

Подсистема (subsystem): Часть системы, которая изучается самостоятельно и соответствует определению объекта-системы. Каждая подсистема является, в свою очередь, системой, которая может делиться на более частные подсистемы. Когда рассматривается одна подсистема, то другие подсистемы являются для нее средой (или внешней средой). Связи подсистемы со средой осуществляются через входы и выходы. Разделение систем на подсистемы (соответственно моделей на подмодели, автономные модели) осуществляться в соответствии с системным подходом.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.2.4

Представление информации (information representation): Стандартизованное представление информации об объекте в определенной нотации с определенной точки зрения.
Примечание – Например, представление насоса на принципиальной схеме и для трехмерного моделирования течения газа или жидкости.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.1.5

Проверка адекватности компьютерной модели: Совокупность действий с моделью, результатом которых является подтверждение ее соответствия моделируемому объекту реального мира.
Источник: ГОСТ Р 57412–2017, пункт 3.1.8

Программное обеспечение (software): Программы, процедуры, правила и любая соответствующая документация, относящиеся к работе вычислительной системы.
Источник: ГОСТ 33707–2016 (ISO/IEC 2382:2015), пункт 4.1085

Программное обеспечение компьютерного моделирования (ПО КМ): Программы, выполняющие математические расчеты, и программы, предназначенные для подготовки исходных данных, обработки результатов расчета, а также другие вспомогательные программы. Программное обеспечение компьютерного моделирования не является программным обеспечением средств измерений согласно ГОСТ Р 8.654.
Источник: ГОСТ Р 57700.2, пункт 3.1.1

Расчетная модель: конечно-элементная модель (КЭМ) со всеми приложенными нагрузками, граничными условиями и характеристиками материалов.
Источник: ГОСТ Р 57700.10–2018, пункт 3.24

Решатель программного обеспечения компьютерного моделирования (ПО КМ): Программный модуль ПО КМ, реализующий одним численным методом решение математических уравнений, соответствующих одной концептуальной модели явления.
Источник: ГОСТ Р 57700.10–2018, пункт 3.26

Свойство (property): Существенная характеристика (признак) внутренне присущая объекту, отличающая данный объект от других.
Примечание – Свойство – черта, характеристика, особенность объекта, проявляющаяся в процессе его потребления или эксплуатации, использования, применения (в дальнейшем все эти глаголы будем употреблять как синонимы) в соответствии с его назначением (например, средняя продолжительность жизни населения объекта).
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.1.13

Сертификация программного обеспечения компьютерного моделирования (ПО КМ): Регламентированная процедура признания возможности использования ПО КМ в заявленной области/границах применения, завершающаяся выдачей сертификата.
Источник: ГОСТ Р 57700.2, пункт 3.1.2

Система (system): Множество объектов-систем, построенное по отношениям r множества отношений {R}, законам композиции z множества законов композиции {Z} из «первичных» элементов m множества {M}, выделенного по основаниям a множества оснований {A} из универсума U. При этом множества {Z}, {Z} и {R}, {Z} и {R} и {M} могут быть и пустыми.
Примечание – В контексте интегрированного подхода множество элементов {M} является множеством свойств объекта. Множество оснований {A} является множеством параметров объекта.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.2.2

Система управления базами данных; СУБД, DBSM (DBMS, database management system): Совокупность программ и языковых средств, предназначенных для управления данными в базе данных, ведения базы данных и обеспечения взаимодействия ее с прикладными программами.
Источник: ГОСТ 20886–85, пункт 46

Система управления базами данных; СУБД, DBSM (DBMS, database management system): Совокупность программных и лингвистических средств общего или специального назначения, обеспечивающих управление созданием и использованием баз данных.
Источник: ГОСТ 33707–2016 (ISO/IEC 2382:2015), пункт 4.1277

Системная инженерия (system engineering): Междисциплинарный подход к созданию успешных систем, определяющий полный набор технических и управленческих усилий, необходимых для

преобразования совокупности потребностей клиента, ожиданий и ограничений в решении и для поддержки этих решений на протяжении их жизненного цикла.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.2.3

Системный подход (systems thinking): Методология научного познания объекта, рассматривающая его в виде модели, путем вычленения информации из физической реальности с той или иной степенью приближения, по выбору исследователя, и формирующая относительно самодостаточное описание целостного комплекса взаимосвязанных элементов; совокупности взаимодействующих объектов; совокупности сущностей и отношений.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.2.1

Среда (context): Часть модели, которая не является частью исследуемого объекта. Совокупность условий, элементов и связей между внешними параметрами объекта-системы и окружением.
Примечание – Данный термин в рамках стандарта используется в качестве синонима термину «контекст». Во многих языках спецификации среда может рассматриваться как содержащая по крайней мере один объект, который способен без ограничения участвовать во всех возможных взаимодействиях, представляя процесс наблюдения.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.1.22

Стадия жизненного цикла (stage of life cycle): Отрезок жизненного цикла системы, относящийся к состоянию системного описания или реализации системы и определяет степень развития системы.
Примечание – Стадии относятся к периодам значительного продвижения системы и достижения запланированных сроков на протяжении жизненного цикла. Стадии могут перекрывать друг друга. Для каких-то систем некоторые стадии могут быть объединены.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.3.8

Стационарная/нестационарная задача: Задача моделирования явлений и процессов, не зависящих/зависящих от времени.
Примечание – В постановке нестационарной задачи присутствует задание движения или изменения в размерах области моделирования с течением времени и/или граничных условий, зависящих от времени, и/или специально заданных начальных условий, приводящих к нестационарным явлениям. В постановке нестационарной задачи содержится хотя бы один параметр, зависящий от времени.
Источник: ГОСТ Р 57700.14–2018, пункт 3.14

Стационарное/нестационарное решение: Решение задачи, не зависящее/зависящее от времени.
Примечание – Возможны случаи получения несходящегося решения для стационарной задачи, вследствие ошибочного предположения стационарности моделируемого явления/процесса, то есть некорректной постановки задачи, являющейся в действительности нестационарной.
Источник: ГОСТ Р 57700.14–2018, пункт 3.15

Точность: Оценка разницы между параметром или полученным значением (или набором параметров или полученных значений) в рамках расчета, моделирования или эксперимента, и истинным значением или предполагаемым истинным значением. Чем меньше указанная разница, тем выше точность.
Источник: СТО СИТИС–201–16А, пункт 2.4.11

Требование (requirement): Потребность или ожидание, которое установлено потребителем, обычно предполагается или является обязательным. Обычно оформляется в виде документа передающего критерии, которые необходимо выполнить в случае заявления о соответствии данному документу и отклонение от которых недопустимо.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.1.12

Управление данными (data management): Деятельность, направленная на определение, создание, хранение, поддержку данных, а также на обеспечение доступа к данным и процессам манипулирования в одной или более информационной системе.
Источник: ГОСТ 33707–2016 (ISO/IEC 2382:2015), пункт 4.1430

Функциональность (functionality): Сложное свойство, определяемое совокупностью свойств, характеризующих основное назначение объекта, его утилитарную сторону.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.1.18

Характеристика (characteristic): Отличительное свойство.
Источник: ГОСТ Р ИСО 9000:2015 , пункт 3.10.1

Цифровой макет (digital mock-up): Цифровая полноразмерная структурная, но не обязательно функциональная, модель, построенная в точном масштабе, используемая, в основном, в исследованиях, испытаниях или демонстрациях.
Источник: ГОСТ Р 57269-2016, пункт 2.4.44

Численная расчетная модель; ЧРМ (numerical simulation model): Численная модель, воспроизводящая реальный объект и позволяющая провести расчет процесса его ударного нагружения.
Примечание – ЧРМ должна включать в себя математическую модель объекта моделирования, начальные и граничные условия, дискретизацию математической модели и МПМ.
Источник: ГОСТ Р 57700.7–2018, пункт 3.10

Численное моделирование (numerical simulation): Моделирование поведения динамических рабочих процессов в заданных условиях путем получения численного решения уравнений математической модели с целью решения задачи оптимизации по заданным критериям существующего или планируемого процессного управления социотехнической системы.
Источник: ГОСТ Р 57700.3–2017, пункт 3.4.10

Численное моделирование (numerical simulation): Моделирование поведения объекта, процесса, явления путем получения численного решения уравнений математической модели.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.12

Численное решение (numerical solution): Результат решения уравнений математической модели численным методом.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.14

Численный метод (numerical method): Представление математической модели в форме алгоритма, который может быть реализован в виде компьютерной программы.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.2.13

Чувствительность математической модели (sensitivity of mathematical model): Степень зависимости решения математической модели от начальных условий и определяющих параметров. Если при незначительном изменении начальных условий и/или определяющих параметров решение меняется существенно, то чувствительность модели велика. Большая чувствительность математической модели в общем случае вызывает сомнения в соответствии математической модели исследуемому явлению.
Источник: ГОСТ Р 57188–2016, пункт 2.1.4

Электронная модель изделия: Модель изделия, выполненная в компьютерной среде.
Примечание – Электронную модель изделия выполняют при помощи соответствующих программных средств.
Источник: ГОСТ 2.052–2015, пункт 3.1.12

Электронный макет изделия: Совокупность электронных моделей и электронных документов, определяющих состав, форму и свойства изделия или его составной части в объеме, определяемом стадией его жизненного цикла.
Примечание – Электронный макет изделия допускается использовать для представления результатов работ на стадиях разработки проектной и рабочей конструкторской документации согласно ГОСТ 2.103.
Источник: ГОСТ 2.052–2015, пункт 3.1.13

Элемент системы (system element): Подсистема дальше неделимая при исследовании и рассматриваемая как единое целое в соответствии с уровнем проработки и точкой зрения
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.2.5

Элементарный образец; ЭО (elementary sample): Образец, применяемый при проведении базового эксперимента (БЭ).
Источник: ГОСТ Р 57700.7–2018, пункт 3.16

Этап жизненного цикла (step of life cycle): Часть стадии жизненного цикла системы, характеризующая существенное, качественное изменение системы.
Источник: ГОСТ Р 57269–2016, пункт 2.3.9

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. ДОРОЖНАЯ КАРТА РАЗВИТИЯ «СКВОЗНОЙ» ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ «НОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

ПРИЛОЖЕНИЕ

к протоколу заседания президиума
Правительственной комиссии по цифровому
развитию, использованию информационных
технологий для улучшения качества жизни и
условий ведения предпринимательской
деятельности от_____№__

ДОРОЖНАЯ КАРТА РАЗВИТИЯ
«СКВОЗНОЙ» ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ
«НОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Москва 2019 г.

1. Преамбула, введение, общее описание направления развития СЦТ

Дорожная карта по развитию «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» (далее - ДК СЦТ НПТ) предполагает рамочный формат - дорожная карта реализуется как рамочный документ для поиска, отбора и целевой поддержки проектов и направлений по соответствующему направлению.

ДК СЦТ НПТ синхронизируется с Паспортом федерального проекта «Цифровые технологии» программы «Цифровая экономика» до 31 декабря 2021 года. На период до 2024 года предлагается ряд дополнительных мероприятий, также дорожная карта может быть актуализирована в соответствии с изменениями и расширением на период до 2024 года графика реализации федерального проекта «Цифровые технологии».

Достижение целевых показателей развития СЦТ НПТ реализуется выполнением проектов, направленных на достижение технических характеристик и на преодоление технологических барьеров, определенных в дорожной карте. Аналитическое обоснование, выполненное для дорожной карты, оценка и отбор проектов, выделение приоритетных субтехнологий, описание мероприятий государственной поддержки могут быть использованы как основа для разработки требований к конкурсам на получение государственной поддержки в сфере новых производственных технологий.

Материалы по разделам «Манипуляторы и технологии манипулирования» предоставлены АНО «УНИВЕРСИТЕТ ИННОПОЛИС» на основании решений Наблюдательного совета АНО «Цифровая экономика» (протокол №13 от 24.05.2019).

Материалы по разделам «Платформы для промышленного интернета» предоставлены ООО «Национальный центр информатизации» на основании решений Наблюдательного совета АНО «Цифровая экономика» (протокол №13 от 24.05.2019)

Материалы по разделам «Цифровая промышленность» предоставлены Департаментом цифровых технологий Минпромторг России.

Сквозная цифровая технология «Новые производственные технологии» (СЦТ НПТ) – это сложный комплекс мультидисциплинарных знаний, передовых наукоемких технологий и системы интеллектуальных ноу-хау, сформированных на основе результатов фундаментальных и прикладных научных исследований, кросс-отраслевого трансфера и комплексирования передовых наукоемких технологий, СЦТ и субтехнологий.

Новые производственные технологии – совокупность новых, с высоким потенциалом, демонстрирующих де-факто стремительное развитие, но имеющих пока по сравнению с традиционными технологиями относительно небольшое распространение, новых подходов, материалов, методов и процессов, которые используются для проектирования и производства глобально конкурентоспособных и востребованных на мировом рынке продуктов или изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.).

Разработка и внедрение субтехнологий, входящих в СЦТ НПТ, является необходимым условием для присутствия отечественных компаний на глобальных высокотехнологичных рынках, для которых характерны смещение «центра тяжести» в конкурентной борьбе на этап разработки высокотехнологичной продукции, повышение уровня ее наукоемкости, сокращение сроков вывода новой продукции на рынок, жесткие ограничения по издержкам, высокие требования к потребительским характеристикам.

Прежде всего, важно отметить, что среди множества передовых технологий, **технология «цифровой двойник»**[43] **(Digital Twin, DT, далее – ЦД)** является технологией- интегратором практически всех «сквозных» цифровых технологий и субтехнологий, выступает технологией-драйвером, обеспечивает технологические прорывы и позволяет высокотехнологичным компаниям переходить на новый уровень технологического и устойчивого развития на пути к промышленному лидерству на глобальных рынках.

В сравнении с традиционными подходами, разработка изделий и продукции на основе технологии «цифрового двойника» может обеспечивать снижение временных, финансовых и иных ресурсных затрат до 10 раз и более. Фактически, именно с помощью разработанных заранее цифровых двойников лидеры мировых высокотехнологичных рынков формируют «гарантированное зарезервированное развитие» (А.И. Боровков, А.А. Аузан). В этом случае семейство цифровых двойников обеспечивают производство («материализация цифрового двойника») и поставку продукции с конкурентными характеристиками в кратчайшие сроки в зависимости от возникающей конъюнктуры на глобальном высокотехнологичном рынке, реализуя триаду «технологический прорыв - технологический отрыв - технологическое лидерство / превосходство».

Важнейшим и обязательным этапом разработки и применения полномасштабных цифровых двойников является формирование путем каскадирования и декомпозиции многоуровневой матрицы целевых показателей конкурентоспособного продукта / изделия и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных, экологических и т. д.). Общее число характеристик матрицы может составлять 50 000 и более[44].

Многоуровневая матрица целевых показателей и ресурсных ограничений предназначена для осуществления «балансировки» огромного количества конфликтующих параметров и характеристик объекта в целом, его компонентов и деталей в отдельности, то есть не только отслеживать их взаимное влияние на различных этапах жизненного цикла, но и в кратчайшие сроки вносить необходимые изменения и уточнения («управление требованиями и изменениями»), например, гибко реагируя на действия конкурентов, что обеспечивает непрерывный характер разработки и представляет собой важнейшую особенность новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования на основе цифровых двойников[45].

Ключевым и необходимым этапом работы для формирования глобально конкурентоспособных «цифровых двойников» в промышленности является реализация комплекса мероприятий «Формирование национального Digital Brainware» - «оцифровка» всех физических, натурных и т. д., как правило, дорогостоящих и зачастую уникальных экспериментов - фактически разработка и валидация математических моделей высокого уровня адекватности материалов (MultiScale- и MultiStage- подходы), машин / конструкций / приборов / установок / сооружений / ..., физико-механических и химических процессов, технологических и производственных процессов (MultiDisciplinary- подход).

Формирование Digital Brainware позволяет в рамках комплексного подхода разработки «цифровых двойников» перейти от традиционной парадигмы проектирования и разработки («доводка продуктов / изделий до требуемых характеристик на основе многочисленных доро-

43 «Цифровой двойник» – это семейства сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, реальным объектам / конструкциям / машинам / приборам ... / техническим и киберфизическим системам, физико-механическим процессам (включая технологические и производственные процессы), описываемых 3D нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных, обеспечивающие отличие между результатами виртуальных испытаний и натурных испытаний в пределах ± 5% (DT-1) и / или «умная» модель, учитывающая особенности конкретного производства и технологии изготовления (DT- 2). Обязательным элементом разработки и применения цифровых двойников является многоуровневая матрица целевых показателей конкурентоспособного продукта / изделия и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных, экологических и т. д.).

44 На основе опыта Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» и ГК CompMechLab®.

45 На основе опыта Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» и ГК CompMechLab®.

гостоящих испытаний и итерационного перепроектирования») к одному из основных компонентов разработки «цифровых двойников» - современной триаде: «Виртуальные испытания» & «Виртуальные стенды» & «Виртуальные полигоны», используемых на всех этапах жизненного цикла и с наибольшим эффектом на этапе проектирования, что значительно снижает объемы физических и натурных испытаний, необходимых для «проверки» опытных образцов.

Безусловно, важным требованием является обеспечение функциональной совместимости (интероперабельности) разрабатываемых отечественных решений с широко распространенными зарубежными решениями, т.к. в настоящее время на предприятиях реального сектора экономики активно используются импортные решения (Siemens, Dassault Systemes, ANSYS, SAP и др.). Экспорт отечественных решений также не возможен без функциональной совместимости с зарубежными программными системами. Учет данных требований в рамках мероприятий по стандартизации является логичным вектором развития новых производственных технологий[46].

Оценка, отбор и анализ субтехнологий проводились на основе документов и материалов:

1. По результатам анализа программных документов по направлению СЦТ НПТ:

- дорожная карта «Технет» НТИ, одобрена президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 14.02.2017, протокол №1;
- дорожная карта по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров «Технет» НТИ, утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 марта 2018 г. № 482-р;
- «Атлас сквозных технологий цифровой экономики России», подготовленный Проектным офисом «Цифровая экономика РФ» ГК «Росатом»;
- сеть институтов Manufacturing USA, обеспечивающих глобальное лидерство в передовом производстве, и стратегический план Strategy for American Leadership in Advanced Manufacturing, 2018, подготовленный National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Advanced Manufacturing;
- немецкая программа Industrie 4.0;
- программа Made in China 2025;
- программа Horizon 2020 (EU Research and Innovation Programme)
- и другие стратегические документы.

Были выделены наиболее актуальные для стратегического развития блоки субтехнологий. Дополнительный анализ в разрезе субтехнологий основан на исследовании 230 источников, включая статистическую информацию (Росстат и др.), лучшие мировые и отечественные практики, нормативные и регламентирующие документы, аналитические отчёты о тенденциях развития высокотехнологичных рынков и конкурентной среды.

2. Результаты экспертного опроса:

- Проведение онлайн анкетирования (24.05.2019, 135 экспертов); в рамках опроса проведена приоритизация технологий, сформированы барьеры, потребности российских предприятий в решениях по направлению «Новые производственные технологии».

46 Консолидированное мнение экспертов ГК «Цифра».

– Проведение очного анкетирования (17.04.2019, 49 экспертов); в рамках анкетирования проведена оценка конкурентной среды, оценка российских рынков по профильным субтехнологиям, а также спрос отраслей экономики на профильные субтехнологии.

3. Результаты экспертных сессий:

– I-я Экспертная сессия (17.04.2019, 109 экспертов); в качестве вводных материалов для сессии использовались данные, полученные по итогам анкетирования экспертов в области «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» и составляющих ее субтехнологий.

– II-я Экспертная сессия (22.04.2019, 52 эксперта); сессия прошла в формате вебинара для обсуждения проекта Дорожной карты по развитию СЦТ «Новые производственные технологии».

– III-я Экспертная сессия (26.04.2019, 62 эксперта); обсуждение итогов подготовки и уточнение перечня мероприятий дорожной карты по направлению развития СЦТ «Новые производственные технологии»; высказано более 50 предложений по организации конкретных мероприятий, рекомендованных экспертами для внесения в ДК СЦТ «Новые производственные технологии».

На основании проведенного анализа и в соответствии с рекомендациями Наблюдательного совета АНО «Цифровая экономика», сформированными на заседании 24.05.2019, **ДК СЦТ НПТ включает следующий перечень субтехнологий:**

5. **Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design);**

6. **Технологии «умного» производства (Smart Manufacturing);**

7. **Манипуляторы и технологии манипулирования.**

Укажем качественные критерии, позволяющие выделить субтехнологию из большого количества современных технологических решений:

1. **Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design):** включает технологии, обеспечивающие реализацию концепции передового цифрового «умного» проектирования; драйвером этого процесса выступает технология разработки цифрового двойника (Digital Twin) на основе создания и применения многоуровневой матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений, на основе математических моделей разных классов, уровней сложности и адекватности (в самых общих случаях описываемых нестационарными нелинейными уравнениями в частных производных), на основе проведения виртуальных испытаний, применения виртуальных стендов и виртуальных полигонов. Особое внимание уделяется разработке и внедрению:

– цифровой платформы создания цифровых двойников, способной учитывать до 150 000 целевых показателей и ресурсных ограничений, использующей смежные «сквозные» цифровые технологии искусственного интеллекта, больших данных, распределенных реестров, обеспечивающей управление интеллектуальной собственностью, экспертное сопровождение и прохождение с первого раза физических и натурных испытаний;

– конкурентоспособной отечественной PLM-системы «тяжелого класса» - системы управления жизненным циклом продукции / изделия, включающей конкурентоспособные CAD-CAM-CAE- подсистемы проектирования, технологической подготовки производства и

компьютерного / суперкомпьютерного инжиниринга на основе математического и имитационного моделирования.

2. **Технологии «умного» производства (Smart Manufacturing)** включают технологии, обеспечивающие реализацию концепции «умного» производства: технологическая подготовка и реализация производственного процесса с минимальным участием человека на основе данных PLM-системы, операционное управление технологическими процессами, производством, предприятием; технологическая подготовка и реализация производственного процесса для кастомизированной продукции широкой номенклатуры на основе гибких, реконфигурируемых и модульных машин, оборудования и робототехники. Особое внимание уделяется разработке, развитию, внедрению и сопровождению отечественных защищенных:

– MES-системы, обеспечивающей децентрализованное планирование на базе «умного» взаимодействия киберфизических устройств, автоматизированную оптимизацию производственных расписаний на уровне холдингов на основе данных платформенных решений для производства и промышленного интернета;

– ERP-системы, использующей «сквозные» цифровые технологии искусственного интеллекта, больших данных и распределенных реестров;

3. **Манипуляторы и технологии манипулирования:** включает методы математического моделирования робототехнических систем как пространственных механических систем с голономными и неголономными связями, методы прямого динамического моделирования нелинейных пространственных механических систем с контактными взаимодействиями; разработку программного обеспечения для управления роботами-манипуляторами; программно-аппаратные средства взаимодействия с окружающей средой и объектами.

Краткая характеристика субтехнологий

1. Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design); средний уровень готовности технологии (далее – УГТ)[47] в России оценивается как УГТ 6–9, в мире – УГТ 7–9. Элементы технологической карты субтехнологии / востребованные решения:

– технологии разработки и сопровождения цифровых двойников (Digital Twin, DT);

– компьютерное проектирование (Computer-Aided Design, CAD);

– математическое моделирование, компьютерный и суперкомпьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering, CAE и High Performance Technical Computing, HPTC) / имитационное моделирование;

– сервис, обеспечивающий доступ к облачным вычислительным мощностям, функционирующий по модели «on demand»;

– сервис, предоставляющий доступ к цифровому профилю изделия, обеспечивающий прослеживаемость изделий как на этапе производства, так и на этапе его эксплуатации;

– технологии оптимизации (Computer-Aided Optimization, CAO);

– платформенные технологии управления процессами проектирования, моделирования и данными (Simulation Process & Data Management, SPDM), а также вычислительными ресурсами (Simulation Process, Data and Resources Management, SPDRM);

47 Здесь и далее в соответствии с ГОСТ Р 58048–2017.

– цифровые платформы для проектирования и инжиниринга, разработки и сопровождения цифровых двойников и платформы «цифровой сертификации», использующие смежные «сквозные» цифровые технологии искусственного интеллекта, больших данных, распределенных реестров, обеспечивающие управление интеллектуальной собственностью, экспертное сопровождение и прохождение с первого раза физических и натурных испытаний;

– планирование производственных технологических процессов (Computer-Aided Process Planning, CAPP);

– технологическая подготовка производства (Computer-Aided Manufacturing, CAM);

– технологии управления данными о продукте (Product Data Management, PDM);

– технологии управления жизненным циклом (Product Lifecycle Management, PLM);

– интегрированная логистическая поддержка (Integrated Logistics Support, ILS);

– платформенные решения для правовой охраны и управления правами на цифровые модели и объекты;

– платформенные решения для эксплуатационного мониторинга, послепродажного / технического обслуживания продукции, предиктивной аналитики и ремонтов;

– платформенное решение, реализующее сервисный подход «база доступных технологий»;

– платформенное решение, реализующее сервисный подход «база типовых изделий».

2. Технологии «умного» производства (Smart Manufacturing); средний УГТ для решений реализации концепции «безлюдного» производства[48] в России оценивается как УГТ 4–5, в мире – УГТ 6–7. Средний УГТ для решений операционное управление технологическими процессами, производством, предприятием в России оценивается как УГТ 9, в мире – УГТ 9. Средний УГТ для решений, обеспечивающих высокую гибкость производства, быструю переналадку и масштабирование в России оценивается как УГТ 6, в мире - УГТ 8-9. В части платформенных решений для производства, промышленного интернета и логистики средний УГТ в России оценивается как УГТ 7, в мире – УГТ 8–9. Элементы технологической карты субтехнологии / востребованные решения:

– «умные» производственные линии (Smart Manufacturing);

– системы числового программного управления (ЧПУ) оборудованием;

– программное обеспечение для обучения и управления промышленными роботами;

– мобильные цифровые устройства, оснащенные модулями беспроводной связи для получения и передачи данных;

– программное обеспечение для получения, обработки и передачи информации, получаемой как от датчиков, встроенных в устройство, так и от сторонних источников, компоненты системы эксплуатируются в доверенной среде, устойчивы к отказам и попытками несанкционированного доступа;

– автоматизированные системы управления предприятием (Enterprise Resource Planning, ERP-системы планирования и управления);

48 Под «безлюдным» понимается производство со сбалансированным соотношением персонала и технологий, обеспечивающих автоматизацию критической массы процессов.

- планирование материалов;
- планирование производства (источник: там же);
- управление производственными активами (источник: там же);
- автоматизированные системы управления производством (Manufacturing
- Execution System, MES-системы управления производственными процессами);
- системы управления технологическим процессом (АСУ ТП): человекомашинный интерфейс (Human-Machine Interface, HMI), SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition), датчики, исполнительные устройства, приводные системы и роботизированные механизмы, системы идентификации (Radio Frequency IDentification, RFID, штрих-коды);
- платформенные решения для промышленного интернета;
- платформенные решения для производства;
- системы управления непрерывным производством;
- системы управления кооперационным производством, позволяющие в режиме реального времени вести планирование и учет по всей цепи кооперации;
- системы управления производственно-техническим потенциалом на уровне холдингов и государственных корпораций;
- платформенные решения для логистики;
- платформенные решения, использующие технологии машинного обучения в привязке к планированию и учету производственных процессов и управлению производственными активами предприятий;
- управление нормативно-справочной информацией (Master Data Management, MDM), системы бизнес-анализа (Business Intelligence, BI, Corporate Performance Management, CPM);
- системы управления лабораторной информацией (Laboratory Information Management System, LIMS);
- системы управления бизнес-процессами (Business Process Management, BPM);
- гибкие, реконфигурируемые и модульные машины, оборудование и робототехнические комплексы;
- неконвенциональные производственные технологии;
- прецизионные технологии, датчики измерения точности;
- вычислительные процессоры с высоким быстродействием и решающие многие задачи с заданной точностью;
- узлы и агрегаты станка, влияющие на исполнительную точность.

3. Манипуляторы и технологии манипулирования; средний УГТ в России – 6, УГТ в мире – 9. Элементы технологической карты субтехнологии / востребованные решения:

– методы математического моделирования робототехнических систем как пространственных механических систем с голономными и неголономными связями и, как более передовое решение - методы прямого динамического моделирования нелинейных пространственных механических систем с контактными взаимодействиями;

– разработка программного обеспечения для управления роботами-манипуляторами;

– программно-аппаратные средства взаимодействия с окружающей средой и объектами.

Оценка УГТ в России на основе конкретных единичных примеров позволяет сделать выводы о наличии решений с уровнем готовности от 6 до 9. Оценка среднего УГТ в России на основе результатов экспертного опроса свидетельствует о недостаточном (низком) количестве российских решений на высоких (6–9) уровнях готовности. Экспертное сообщество определяет отставание в развитии большинства субтехнологий СЦТ НПТ, в том числе в части технических характеристик, в России на 5–10 лет в сравнении с мировым уровнем.

Приоритетные отрасли для внедрения субтехнологий СЦТ НПТ:

1. Автомобилестроение (ОКВЭД: производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов, включая производство двигателей для автотранспортных средств);

2. Авиастроение и ракетно-космическая техника (ОКВЭД: производство летательных аппаратов, включая космические, и соответствующего оборудования);

3. Двигателестроение (ОКВЭД: производство силовых установок и двигателей для летательных аппаратов, включая космические);

4. Машиностроение, включая атомное, нефтегазовое, тяжелое, специальное машиностроение, железнодорожный транспорт (ОКВЭД: производство машин и оборудования общего назначения).

5. Судостроение и кораблестроение (ОКВЭД: строительство кораблей, судов и лодок);

6. Непрерывное / процессное производство (ОКВЭД: добыча полезных ископаемых; обрабатывающие производства, производство металлургическое, производство кокса и нефтепродуктов; производство химических веществ и химических продуктов).

Эффекты от развития СЦТ (технологическое лидерство, экономическое развитие, социальный прогресс). Цели реализации мероприятий ДК СЦТ НПТ:

1. Разработка и развитие прорывных технологий СЦТ НПТ как основы для технологического лидерства.

2. Разработка и развитие отечественных технологий мирового уровня, реализация их полного потенциала.

3. Внедрение и апробация производственных технологий, стимулирование спроса на СЦТ НПТ для достижения промышленного лидерства в будущем, в первую очередь, в высокотехнологичных отраслях промышленности.

4. Устранение барьеров (нормативно-технических, научных, технологических, кадровых, финансовых и др.).

Реализация целей соответствует следующим приоритетным направлениям развития:

1. Повышение глобальной конкурентоспособности России на мировых высокотехнологичных рынках.

2. Создание высокопроизводительного экспортно-ориентированного сектора обрабатывающих производств, развивающегося на основе новых производственных технологий.

3. Создание экосистемы цифровой экономики Российской Федерации, в которой данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности.

4. Подготовка специалистов высококвалифицированных кадров, обладающих компетенциями мирового уровня в сфере исследований и разработок; для разработки, развития и применения передовых технологий, как правило, наукоемких и мультидисциплинарных, нужны специалисты нового типа.

5. Переход к новым бизнес-моделям на базе Цифровых платформ[49] / Цифровых двойников и к Фабрикам будущего[50] («цифровым» / «умным» / «виртуальным»)[51] как основе современной экономики.

Наиболее эффективно развитие по указанным приоритетным направлениям реализуется при выполнении комплексных проектов по созданию высокотехнологичных продуктов с принципиально новыми потребительскими свойствами, что отразится в достижении следующих эффектов (в порядке приоритетности):

1. Сокращение времени на разработку / производство продукции.

2. Сокращение затрат на разработку / производство продукции.

3. Достижение принципиально новых потребительских свойств.

4. Улучшение качества продукции.

5. Гибкость производства: возможность быстрой переналадки производства.

6. Возможность внедрения новых бизнес-моделей.

7. Увеличение ресурса / срока эксплуатации оборудования и инфраструктуры.

8. Увеличение ресурса / срока эксплуатации изделия.

Ключевые рыночные тенденции развития СЦТ

1. Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design):

– С географической точки зрения крупнейшими рынками традиционного PLM в 2017 году стали США (7,7 млрд долл., CAGR в период с 2018 по 2022 год составит 6,3%), Япония

49 Межотраслевая цифровая платформа для проектирования и производства глобально конкурентоспособных продуктов нового поколения, проведения виртуальных испытаний, создания виртуальных полигонов и стендов, «цифровых двойников» (Digital Twin) изделий (DT1) и процессов их производства (DT2) с применением передовых производственных технологий.

50 Фабрики Будущего – это определённый тип системы бизнес-процессов, способ комбинирования бизнес-процессов, который имеет следующие характеристики: создание цифровых платформ, своеобразных экосистем передовых цифровых технологий; разработка системы цифровых моделей как новых проектируемых изделий, так и производственных процессов; цифровизация всего жизненного цикла изделий (от концепт-идеи, проектирования, производства, эксплуатации, сервисного обслуживания и до утилизации).

51 Подробнее см.: https://technet-nti.ru/article/fabriki-buducshego.

(3,82 млрд долл., CAGR в период с 2018 по 2022 год составит 6%) и Германия (3,75 млрд долл., CAGR в период с 2018 по 2022 год составит 5,7%)[52].

– Прогнозируется, что Азиатско-Тихоокеанский регион станет самым быстрорастущим рынком со среднегодовым темпом роста 8,6% в течение периода анализа.

– Только 16% организаций в мире в наиболее полной мере внедряют технологии «цифровых двойников»[53].

– Рынок интеллектуальных фабрик для решения MES, вероятно, будет расти самыми быстрыми темпами с 2019 по 2024 год[54].

– Аэрокосмическая и оборонная промышленность с долей 24% доминировали на мировом рынке управления жизненным циклом продукции (PLM) в 2015 году[55].

2. Технологии «умного» производства (Smart Manufacturing):

– Согласно исследованию, проведенному Capgemini, по состоянию на март 2017 года 62% аэрокосмических и оборонных предприятий приняли инициативу «умного производства» - в настоящее время Северная Америка лидирует на мировом рынке интеллектуальных производств;

– Высокий спрос в основном существует в сфере автомобильной сборки, телекоммуникационных сетей, самолетов, котлов и печей для термообработки, машин для химической промышленности, рулевого управления и стабилизации судов и других систем машин[56].

– Согласно прогнозам компании MarketWatch, мировой рынок автоматизации и процессов управления (Automation & Process Control Market) достигнет объема в 320 млрд долл. к 2024 году[57]. Компания BusinessWire оценивает объем мирового рынка в 158,8 млрд долл. в 2017 году с прогнозом роста до 324,6 млрд долл. к 2027 году (CAGR составит 8%)[58].

Платформенные решения для производства, промышленного интернета и логистики:

– Прогнозируется, что рынок IIoT в Азиатско-Тихоокеанском регионе значительно возрастет в течение 2016–2024 гг. Это связано с формирующимся производственным сектором в таких странах, как Индия, Тайвань, Китай и Республика Корея. Индийская автомобильная промышленность обеспечивает более 7% ВВП страны. Улучшение инфраструктуры и инициатива “Make in India” привлекают потенциальные инвестиции в автомобильный

52 CIMdata Releases Series of Country-Specific PLM Market Analysis Reports. Источник: https://www.cimdata.com/en/news/item/10771-cimdata- releases-series-of-country-specific-plm-market-analysis-reports (дата обращения: 16.01.2019).

53 Digital Engineering. The new growth engine for discrete manufacturers. Источник: https://www.capgemini.com/wp-content uploads/2018/06/DTI_Digital-Engineering201806125_V08.pdf (дата обращения: 16.01.2019).

54 $244 Billion Smart Factory (DCS, PLC, MES, ERP, SCADA, PAM, HMI, PLM) Market - Global Forecast to 2024 - ResearchAndMarkets.com. Источник: https://www.businesswire.com/news/home/20190404005418/en/244-Billion-Smart-Factory-DCS-PLC-MES (дата обращения: 23.05.2019).

55 Global Product Lifecycle Management (PLM) Market Analysis & Opportunity Outlook 2022. Источник: https://www.researchnester.com/reports/global-product-lifecvcle-management-plm-market-analvsis-opportunitv-outlook-2022/98 (дата обращения: 23.05.2019).

56 Increasing Need for Rapid Production of Machinery to Make Industrial Automation Market Grow at 6.6% CAGR. Источник: https://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/industrial-automation-market.htm (дата обращения: 23.05.2019).

57 Automation & Process Control Market is Determined to Exceed US$ 320 Billion by 2024. Источник: https://www.marketwatch.com/press-re- lease/automation-process-control-market-is-determined-to-exceed-us-320-billion-by-2024-2019-03-20 (дата обращения 20.06.2019).

58 “Opportunity Outlook on the Industrial Automation Control Market 2019-2027 – The Market is Expected to Grow from $158.5Bn in 2018 to $324.6Bn by 2027 Источник: https://www.businesswire.com/news/home/20190401005410/en/Opportunitv-Outlook-Industrial-Automation-Control-Market- 2019–2027 (дата обращения 20.06.2019).

сектор. Кроме того, растущая тенденция к открытию интеллектуальных фабрик в Азиатско-Тихоокеанском регионе обеспечивает потенциал для роста отрасли[59].

– Учитывая преимущества IIoT, многие крупные промышленные производители сотрудничают с интернет-компаниями. Например, National Instruments Alliance partner Averna объявило о сотрудничестве с PTC, с целью расширения сферы охвата от тестирования до производства с помощью IoT[60].

– В Азиатско-Тихоокеанском регионе около трети всех расходов на IoT будут приходиться на обрабатывающую промышленность в 2020 году. В других регионах производственный сектор также занимает первое место, но с более низкой долей расходов. Например, в США расходы на IoT в обрабатывающей промышленности будут составлять примерно 15% от общего объема закупок IoT[61].

– Согласно исследованию IDC, в 2016 году на производственные операции с поддержкой IoT было потрачено 102,5 млрд долл. США, что является самой большой областью применения во всех отраслях. По оценкам исследователей, к 2025 году улучшения в работе, вызванные приложениями IoT, могут составить более 470 млрд долл. в год[62].

– Использование технологий: управление транспортировкой, бортовые устройства на транспортных средствах, интеллектуальная автоматизация складского хозяйства, методы для расчёта чистых таблиц (восходящий расчёт «истинных» затрат на обслуживание, использование подходов динамической маршрутизации) позволит получить следующие эффекты: снижение эксплуатационных расходов на 30%; сокращение потерь на 75% при одновременном ожидаемом снижении запасов до 75%; увеличение гибкости цепочек поставок.

– Использование платформ операторов сетей связи общего пользования. Обеспечивается совместимость разнообразных существующих решений по передаче информации у предприятий и организаций Промышленного интернета с сетью и платформами операторов сетей связи общего пользования. Насчитывается порядка 8–9 тысяч платформ с учётом вероятного появления цифровых агломераций[63].

– Использование проприетарных решений, которые являются частной собственностью авторов или правообладателей и не удовлетворяющее критериям свободного программного обеспечения (источник: там же).

– Создание большого числа платформ Промышленного интернета; при этом масштабировать и монетизировать эффекты от их использования удаётся только единицам. В соответствии с вероятным появлением цифровых агломераций в каждой из них необходимо будет установить, по крайней мере, одну платформу Промышленного интернета (источник: там же).

---

59 IoT in Manufacturing Market set to boom till 2024, Growing industrial sector in Asia Pacific provides growth impetus to the industry. Источник: http://technologvmagazine.org/iot-manufacturing-market-set-boom-till-2024-growing-industrial-sector-asia-pacific-provides-growth-impetus-indus- try/ (дата обращения: 23.05.2019).

60 IoT in Manufacturing Market set to boom till 2024, Growing industrial sector in Asia Pacific provides growth impetus to the industry. Источник: http^/technologymagazine^^^ot;manufactu£iBg-market;set;b^2m;trll-2024;growing;industrial;sectpr:asi^:pacific;provides ;growth;i^^etus;indus2 try/ (дата обращения: 23.05.2019).

61 IOT in Manufacturing. Источник: https://www.industrialiotseries.com/2018/07/02/the-internet-of-things-in-manufacturing-benefits-use-cases-and- trends/ (дата обращения: 23.05.2019).

62 IoT in Manufacturing: The Ultimate Guide. Источник: https://www.scnsoft.com/blog/iot-in-manufacturing (дата обращения: 23.05.2019).

63 Отчёт о выполнении работ по разработке дорожной карты по направлению развития «сквозной» цифровой технологии «Промышленный интернет», ООО «Национальный центр информатизации»; Блануца В.И. Территориальная структура цифровой экономики России: предварительная делимитация “умных” городских агломераций и регионов. Пространственная экономика, №2, 2018, стр.17–35.

– Крупнейшие держатели архитектур: IIOT IIC (консорциум промышленного Интернета) и Platform Industrie 4.0, сотрудничающие в анализе эталонных архитектур, и двигающиеся к общим стандартам.

3. Манипуляторы и технологии манипулирования.

– В 2017 году основными индустриями роста применения промышленных роботов стали металлургия (+55%) и электроника (+33%), самый крупный потребитель роботов - автомобилестроение (+22%), до 33% всех промышленных роботов в 2017 году были востребованы в этой отрасли.

– С 2010 года спрос на промышленные роботы растёт за счёт роста автоматизации и технологического совершенствования промышленных роботов, так между 2012 и 2017 гг. продажи роботов росли со средним CAGR - 19% в год[64].

Ключевые драйверы развития СЦТ

1. Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design):

– Эффекты разработки и внедрения технологий «цифровых двойников» – компании, инвестирующие в развитие технологий «цифровых двойников» могут сократить временные издержки производственного цикла на 30%[65].

– Системы PLM пользуются высоким спросом со стороны аэрокосмической, оборонной промышленности, сферы банковских услуг. Спрос со стороны сектора оборонной промышленности стимулирует распространение PLM-технологий и стимулирует рост рынка[66].

– Производители применяют технологию MES, чтобы снизить затраты и предоставить возможности для эксплуатации и доставки высокопроизводительных производственных активов по всей цепочке поставок. Это приводит к высоким темпам роста для сегмента MES. Существует растущая потребность в централизации бизнес-данных на предприятиях и отслеживании операций на нескольких предприятиях с помощью анализа данных в режиме реального времени[67].

– Факторы, способствующие росту на рынке, включают спрос на замкнутые PLM-системы (Closed-loop PLM), а также повышенное внимание к нормативным требованиям, необходимость снижения риска для продукта, растущую потребность в сотрудничестве по всему жизненному циклу производства[68].

---

64 Executive Summary World Robotics 2018 Industrial Robots. Источник: https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_2018_In- dustrial_Robots.pdf, (дата обращения 20.06.2019)

65 How the 'Digital twin' will transform the Manufacturing sector. Источник: https://www.redlinegroup.com/insights/how-the-digital-twin-will-trans- form-the-manufacturing-sector-71701914407 (дата обращения: 16.01.2019).

66 Global Product Lifecycle Management (PLM) Market to Expand with a CAGR of 8.1% due to Extensive Demand from Aerospace and Defense sector. Источник: https://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/product-lifecycle-management-market.htm (дата обращения: 23.05.2019).

67 $244 Billion Smart Factory (DCS, PLC, MES, ERP, SCADA, PAM, HMI, PLM) Market - Global Forecast to 2024 - ResearchAndMarkets.com. Источник: https://www.businesswire.com/news/home/20190404005418/en/244-Billion-Smart-Factory-DCS-PLC-MES (дата обращения: 23.05.2019).

68 Product Lifecycle Management Market Trends, Market Analysis, and Forecasts by Global Industry Analysts Inc. Источник: https://www.strate- gyr.com/MarketResearch/ViewInfoGraphNew.asp?code=MCP-6516 (дата обращения: 23.05.2019).

2. Технологии «умного» производства (Smart Manufacturing):

– Активное развитие рынка связано с потребностями предприятий, реализующих программы промышленной трансформации (например, Индустрия 4.0) в автоматизации.

– Наибольшая выручка на рынке умного производства обеспечивается странами АТР (62 млрд долл. на 2015 г.)[69].

– Рост рынка интеллектуального производства, вероятно, будет продиктован высоким спросом со стороны химической промышленности и материалов, пищевой промышленности и АПК, здравоохранения, а также оборонной и аэрокосмической промышленности[70].

Платформенные решения для производства, промышленного интернета и логистики:

– Рынок формируется под влиянием тренда «платформизации». Представленные в этом сегменте решения стали массово появляться на рынке в 2016–2017 годах. Их долю на рынке можно оценить в 5% рынка ($2 млрд), при этом для платформенных решений прогнозируют рост (CAGR) в 35% в год[71].

– Продвижению IIoT в производственном секторе способствуют возрастающие требования к повышению операционной эффективности и оптимизации затрат, связанных с различными производственными процессами. Технология IIoT способна значительно повысить операционный контроль на производстве за счёт сбора информации в режиме реального времени о каждом этапе цепочки поставок и функционировании производственных линий.

– Повышение осведомлённости потребителей о преимуществах аналитических решений для цепочек поставок. Растущая потребность в управлении большим количеством бизнес-данных.

3. Манипуляторы и технологии манипулирования. Драйверами развития использования промышленных роботов являются:

– увеличение объёма производств в отдельных отраслях промышленности (автопром, производство электроники), где есть высокая конкуренция и массовость производства.

– Государственная политика может быть стимулом для модернизации производств с использованием передовых средств автоматизации, а также преодоления барьера «первого робота».

– Общие просветительские меры, направленные на разъяснение возможностей и пользы от использования робототехники в производстве.

– Наличие стратегий, программ и национальных приоритетов по развитию промышленной роботизации (Япония, Южная Корея, Тайвань).

– Культурный фактор: например, низкий уровень опасений общества по поводу замещения роботами существующих рабочих мест.

– Проактивная налоговая политика, включая льготы, а также поддержку внедрения передовых технологий (Сингапур).

---

69 Product Lifecycle Management Market Trends, Market Analysis, and Forecasts by Global Industry Analysts Inc. Источник: https://www.strate- gyr.com/MarketResearch/ViewInfoGraphNew.asp?code=MCP-6516 (дата обращения: 23.05.2019).

70 Evolution of Industry 4.0 Trend to Accelerate Smart Manufacturing Market. Источник: https://www.transparencymarketresearch.com/pressre- lease/smart-manufacturing-market.htm (дата обращения: 23.05.2019).

71 IoT platform market to grow to $1.6 billion by 2020: Verizon report. // 12.09.2017. [электронный ресурс] URL: https://economictimes.indiatimes.com/tech/ites/iot-platform-market-to-grow-to-1-6-billion-by-2020-verizon-report/articleshow/60475930.cms (Дата обращения: 19.04.2019).

КНР реализует собственную стратегию внедрения роботов: выделяются крупные субсидии, реализуется План развития индустрии робототехники КНР (2016–2020). Например, только провинция Гуандун выделила примерно $ 135 млрд для содействия компаниям в «замещении машин». Однако в этой статистике возможны преувеличения: компания BCG отмечает, что объем всех субсидий КНР на роботизацию составил $ 6 млрд[72].

Таблица 1. Перечень рисков и возможных ограничений развития заделов по СЦТ, создания перспективных российских решений на их базе

Направление	Риски	Ограничения
Законодательные и административные	Принятие нормативных правовых документов, увеличивающих налоговую и иную административную нагрузку	Административные барьеры / дефицит мер поддержки для внедрения субтехнологий СЦТ НПТ
	Увеличение срока принятия новых стандартов и регламентов	Отсутствие стандартов и регламентов, что затрудняет внедрение и масштабирование технологий СЦТ НПТ
	Сохранение зарегулированности (в части стандартов и требований к новым поставщикам) некоторых отраслей –потенциальных потребителей новых производственных технологий	Низкий спрос на технологии решения СЦТ НПТ со стороны потенциальных потребителей технологий
	Риски патентного давления при создании и использовании субтехнологий[73]	Наличие патентов, ограничивающих развитие решений и функциональных элементов решений в рамках субтехнологий
Технологические и инфраструктурные	Недостаточная защищённость чувствительных данных предприятий	Отсутствие нормативно-правовой базы в сфере информационной безопасности для субтехнологий СЦТ НПТ
	Санкционные риски, связанные с возможным запретом использования иностранного ПО и оборудования	Введены санкционные ограничения против ряда ключевых российских организаций
	Снижение доступности инфраструктуры больших данных, высокопроизводительных вычислений, систем передачи данных и пр.	Недостаток инфраструктуры больших данных, высокопроизводительных вычислений, систем сбора, передачи, хранения передачи данных в промышленности

72 Robert D. Atkinson. Which Nations Really Lead in Industrial Robot Adoption? Источник: http://www2.itif.org/2018-mdustrial-robot-adop- tion.pdf?_ga=2.33485438.111287278.1544264515-2000188760.1544264515 (дата обращения: 27.12.2018).

73 Консолидированное мнение экспертов ГК «Цифра» на основании решений заседания рабочей группы «Цифровые технологии» АНО «Цифровая экономика» 18.06.2019.

Направление	Риски	Ограничения
Экономические	Риски нехватки оборотных средств необходимых компании на исследования и разработки и пилотные внедрения	Длительный срок и высокие издержки внедрения новых производственных технологий, а также их окупаемости
	Снижение потенциала и потеря времени на разработку конкурентоспособных решений в условиях динамичной международной конкуренции	Наличие конкурентоспособных продуктов на мировом рынке: сложности вывода новых решений на мировой рынок, а также длительные сроки разработки новых продуктов
	Риски снижения спроса на новые производственные технологии	Недостаток испытательных полигонов и пилотных площадок внедрения новых производственных технологий, дефицит фактической информации об экономических эффектах от внедрения, небольшое количество успешных практик внедрений, отсутствие мер поддержки, косвенно стимулирующих спрос на новые производственные технологии путём снижения стоимости их внедрения
	Социальные риски снижения квалификации кадров	Дефицит высококвалифицированных кадров, потребность в подготовке и переподготовке специалистов
	Усиление конкуренции за квалифицированные кадры с иностранными исследовательскими центрами и высокотехнологичными компаниями	Конкуренция за квалифицированные кадры с иностранными исследовательскими центрами и высокотехнологичными компаниями
	Снижение количества поступающих на профильные и востребованные специальности в рамках СЦТ	Высокая потребность рынка в кадрах, при относительно небольшом количестве выпускаемых ежегодно инженеров / дефицит кадров со средней квалификацией и рабочих
	Рост различий в «онтологии» / понимания сути новых производственных технологий	Недостаток информации о технологиях СЦТ НПТ, различное понимание ключевыми стейкхолдерами сути технологий СЦТ НПТ, что затрудняет формирование общего видения развития профильных технологий
	Научные и кадровые Разрывы инновационного цикла (фундаментальные и прикладные исследования - опытно-конструкторские разработки испытание и внедрение комплексных технических решений)	Длительность инновационного цикла, ограничения, связанные с коммерциализацией и трансфером технологий

1. Текущее состояние и целевые показатели развития до 2021 и 2024 года (технологические и отдельные экономические)

Таблица 2. Целевые показатели развития СЦТ НПТ

№	Субтехнология	Целевое состояние субтехнологии/техническая характеристика	2019	2021	2024
1.	Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design)	Переход от традиционной парадигмы проектирования (доводка продуктов / изделий до требуемых характеристик на основе натурных испытаний, 5 итераций в среднем) к новой парадигме цифрового проектирования и моделирования – технологии разработки и применения цифровых двойников (Digital Twin), обеспечивающей при экспертном сопровождении, как правило, прохождение с первого раза физических и натурных испытаний (1 итерация), определение критических зон и критических характеристик для мониторинга на всех этапах жизненного цикла продукта / изделия. Экономические характеристики (Э): Э-1 – количество высокотехнологичных предприятий из приоритетных отраслей промышленности, применяющих технологию разработки цифровых двойников продуктов / изделий и обеспеченных экспертным сопровождением;	Э-1=3	Э-1=15	Э-1=100
		Э-2 – количество реализованных проектов на высокотехнологичных предприятиях из приоритетных отраслей промышленности, для которых была применена технология разработки цифровых двойников; Технические характеристики (Т): Т-1 – сокращение времени разработки высокотехнологичных продуктов;	Э-2=3 Т-1=	Э-2=30 Т-1=15%	Э-2=250 Т-1=25%
		Т-2, % показателей матрицы целевых показателей и ограничений, обеспечивающих достижение целевых характеристик разрабатываемого изделия или продукции, определяемых и обосновываемых результатами виртуальных испытаний (по отраслям): 1. Автомобилестроение (ОКВЭД: производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов, включая производство двигателей для автотранспортных средств); 2. Авиастроение (ОКВЭД: производство летательных аппаратов и соответствующего оборудования); 3. Судостроение и кораблестроение (ОКВЭД: строительство кораблей, судов и лодок); 4. Двигателестроение (ОКВЭД: производство силовых установок и двигателей для летательных аппаратов, включая космические); 5. Машиностроение, включая атомное, нефтегазовое, тяжёлое, специальное машиностроение, железнодорожный транспорт (ОКВЭД: производство машин и оборудования общего назначения); 6. Непрерывное / процессное производство (ОКВЭД: добыча полезных ископаемых; обрабатывающие производства, производство металлургическое, производство кокса и нефтепродуктов; производство химических веществ и химических продуктов).	Т-2= 0%	Т-2= 25%-50%	Т-2= 50%-100%
		Т-3 – разработанные и внедрённые технологии создания цифровых двойников продуктов / изделий на основе десятков тысяч целевых показателей обеспечивают при экспертном сопровождении прохождение с первого раза физических и натурных испытаний (1 итерация), определение критических зон и характеристик для мониторинга на всем жизненном цикле, количество итераций в приоритетных отраслях промышленности.	Т-3=5	Т-3=3	Т-3=1

№	Субтехнология	Целевое состояние субтехнологии/техническая характеристика	2019	2021	2024
		Разработана отечественная PLM-система «тяжёлого» класса (включая CAD / CAM / CAE - подсистемы), поддерживающая все стадии разработки изделий: от создания концепта и проектирования до изготовления, на базе отечественной платформы полного жизненного цикла изделий. PLM система обеспечивает автоматическую оценку технологической реализуемости производства на ранних этапах проектирования изделия или продукции (для УГТ 4–5 изделия). Разработана платформа управления цифровым профилем изделий, обеспечивающая полную прослеживаемость на всем жизненном цикле изделия: начиная от момента проектирования отдельных деталей и узлов, включая контроль на стадии производства, заканчивая эксплуатацией готового изделия. Э-1 - количество высокотехнологичных предприятий из приоритетных отраслей промышленности, использующих разработанную PLM-систему; Э-2 - количество реализованных проектов на высокотехнологичных предприятиях из приоритетных отраслей промышленности, в которых была применена PLM-система; Э-3 - количество активных / сертифицированных пользователей PLM-системы; Э-4 - количество типовых изделий в 5 приоритетных отраслях промышленности, подключенных к системе цифрового профиля изделия; Т-1 - этап разработки изделия или продукции (УГТ), на котором доступна автоматизированная оценка технологичности производства разрабатываемого изделия или продукции; Т-2 - сокращение времени разработки высокотехнологичных продуктов.	-	«средне-тяжелый класс, защищен	«тяжелый» кдасс, защищен
			Т-1: Автоматизированная оценка технологичности только для поздних этапов (УГР 9 изделия)	-	Т-1: Автоматизированная оценка технологичности только для ранних этапов (УГР 4-5 изделия)
			-	Т-2=10%	Т-2=15%
			Э-1=0 Э-2=0 Э-3=0 Э-4=0	Э-1=5 Э-2=10 Э-3=500 Э-4=20	Э-1=25 Э-2=50 Э-3= 10 000 Э-4=100
		Разработана для 5 приоритетных отраслей Национальная база математических моделей высокого уровня адекватности Digital Brainware (отличие между результатами моделирования и натурных испытаний в пределах ± 5%) на основе архивов физических и натурных экспериментов, обеспечена преемственность с накопленным научно-технологическим опытом, основанном на дорогостоящих и зачастую уникальных экспериментах. Разработанная Национальная база пополняется математическими моделями высокого уровня адекватности на основе новых серий физических и натурных экспериментов, в том числе направленных на применение новых материалов. Т-1 - % испытательных стендов (по отраслям), входящих в состав Национальной базы математических моделей высокого уровня адекватности, от общего числа испытательных стендов: 1. Автомобилестроение (ОКВЭД: производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов, включая производство двигателей для автотранспортных средств); 2. Авиастроение и ракетно-космическая техника (ОКВЭД: производство летательных аппаратов, включая космические, и соответствующего оборудования); 3. Судостроение и кораблестроение (ОКВЭД: строительство кораблей, судов и лодок); 4. Двигателестроение (ОКВЭД: производство силовых установок и двигателей для летательных аппаратов, включая космические);	Т-1= 0%	Т-1= 100%	Т-1= 25%

№	Субтехнология	Целевое состояние субтехнологии/техническая характеристика	2019	2021	2024
		5. Машиностроение, включая тяжёлое, специальное и атомное машиностроение, железнодорожный транспорт (ОКВЭД: производство машин и оборудования общего назначения); 6. Непрерывное / процессное производство (ОКВЭД: добыча полезных ископаемых; обрабатывающие производства, производство металлургическое, производство кокса и нефтепродуктов, производство химических веществ и чимических продуктов)			
		Цифровая платформа разработки цифровых двойников, способная учитывать 150 000 целевых показателей и ресурсных ограничений, использующая смежные «сквозные» цифровые технологии искусственного интеллекта, больших данных, распределённых реестров, обеспечивающая управление интеллектуальной собственностью, экспертное сопровождение и прохождение с первого раза физических и натурных испытаний. Цифровая платформа внедрена в 5 приоритетных отраслях, в 50 высокотехнологичных компаниях, сформирована национальная сетецентрическая экосистема из 25 «зеркальных» инжиниринговых центров, объединяющая 2 500 экспертов - сертифицированных пользователей. Т-1 - целевые показатели и ресурсные ограничения, учитываемые матрицей целевых показателей и ограничений Цифровой платформы разработки цифровых двойников; Э-1 - количество пользователей Цифровой платформы разработки цифровых двойников.	Т-1= 40 000	Т-1= 70 000	Т-1= 150 000
			Э-1= 250	Э-1= 1 000	Э-1= 2 500
		Платформа цифровой сертификации обеспечивает экспертное сопровождение разработки и применения цифровых моделей и виртуальных испытательных стендов для ускоренной сертификации материалов и изделий: Э-1 - количество материалов и изделий, прошедших ускоренную сертификацию на основании виртуальных испытаний, не менее; Э-2 - количество компаний, использующие платформу для вывода материалов и изделий на рынок, не менее.	-	Э-1=10	Э-1=50
			-	Э-2=2	Э-2=10
		Платформенные решения для правовой охраны и управления правами на цифровые модели и объекты обеспечивают охрану в режиме авторского / патентного права (как промышленный образец) / лицензирование: Э-1 - % от общего числа элементов, созданных «цифровых двойников», охрана которых обеспечена в режимах авторского / патентного права (как промышленный образец)	Э-1= 15/1/ 0%	Э-1=50/ 5/10%	Э-1= 100/ 25/30%
		Разработана платформа полного жизненного цикла, обеспечивающая сервисы для разработки специализированного прикладного инженерного ПО на базе отечественной платформы и геометрического ядра: Э-1 - количество прикладных решений, разработанных на платформе полного жизненного цикла; Э-2 - количество сертифицированных специалистов, подготовленных для проектирования инженерного ПО на базе платформы жизненного цикла.	-	Э-1=10	Э-1=25
			-	Э-2=50	Э-2=100
		Сервис, обеспечивающий доступ к облачным вычислительным мощностям, функционирующий по модели «on demand» Э-1 - количество активных / сертифицированных пользователей сервиса	Э-1= 250	Э-1= 1 000	Э-1= 2 500

№	Субтехнология	Целевое состояние субтехнологии/техническая характеристика	2019	2021	2024
		Платформенные решения, реализующие сервисный подход «База доступных технологий» и «База доступных мощностей» Э-1 - количество компаний, использующих базы, не менее.	-	Э-1=2	Э-1=10
		Разработаны платформенные решения для эксплуатационного мониторинга: постпродажное обслуживание изделий и предиктивная аналитика. Э-1 - количество типовых изделий в 5 приоритетных отраслях промышленности, процесс послепродажного обслуживания которых автоматизирован.	Э-1=0	Э-1=20	Э-1=100
2.	Технологии «умного» производства (Smart Manufacturing)	Разрабатываемые решения обеспечивают подготовку и наладку производства на основе интеграции данных из PLM-системы с минимальным участием человека (сокращение участия человека до 65%); Т-1 - участие человека в подготовке и наладке производства, % от выполняемых операций.	Т-1= 100%	Т-1=85%	Т-1=65%
		Развитие функциональных элементов на базе отечественных MES-систем, комплементарных с технологиями искусственного интеллекта, больших данных, интернета вещей и оптимизирующих процесс планирования производства с учётом «быстрых» переналадок и партий запуска; Э-1 - MES-система внедрена на высокотехнологичных предприятиях, не менее; Э-2 - количество сертифицированных пользователей MES-системы.	-	-	Э-1= 1 000
			-	-	Э-2= 10 000
			-	Модуль оптимизации производственных расписаний на уровне холдингов на основе алгоритмов искусственного интеллекта и данных интернета вещей	Модуль децентрализованного планирования. Интеграции с системой межзаводской кооперации и управления производственно-технологическим потенциалом крупных холдингов и государственных корпораций
		Развитие функциональных элементов, комплементарных с технологиями искусственного интеллекта, больших данных и распределённых реестров, на базе отечественных платформ; разработка решений и функциональных элементов: - системы управления производством, в том числе системы управления непрерывным производством; - система управления кооперационным производством, позволяющая в режиме реального времени вести планирование и учёт по всей цели кооперации; - система управления производственно-техническим потенциалом на уровне холдингов и государственных корпораций;	-	-	Э-1=500
			-	-	Э-2= 10 000
			-	-	Э-3= 10 000
				Модуль автоматизации и процессов предприятия	Модуль доверенных поставок и транзакций среди

№	Субтехнология	Целевое состояние субтехнологии/техническая характеристика	2019	2021	2024
		- ERP-система; - универсальная интеграционная шина данных. Э-1 - решения внедрены на высокотехнологичных предприятиях, не менее (для каждого решения/системы в рамках пп); Э-2 - количество сертифицированных пользователей внедрённых решений, не менее; Э-3 - функциональные элементы ERP-системы внедрены на высокотехнологичных предприятиях, не менее 1000.		высокой степени стандартизации (ввод первичных данных, кадровое делопроизводство и т. д.)	участников кооперации
			-	Э-1=5	Э-1=15
		Платформенные решения для промышленного интернета функционируют со скоростью более 10 млрд сигналов/с на локальных серверах; применяются технологии искусственного интеллекта; Э-1 - платформенные решения для промышленного интернета внедрены на высокотехнологичных предприятиях, не менее; Э-2 - оснащение системами класса MDC, обеспечивающих получение данных с оборудования в режиме реального времени, в 5 приоритетных отраслях промышленности, %[74]; Т-1 - скорость функционирования платформ для промышленного интернета, млрд сигналов/с	-	Э-2=50%	Э-2=70%
			Т-1=5 млрд сигналов/с с использованием ЦОДов	Т-1=7 млрд сигналов/с	т-1=10 млрд сигналов/с на локационных серверах
		Разработана и внедрена платформа для сбора и анализа данных производственного оборудования и технологических процессов для целей оптимизации с использованием алгоритмов и методов машинного обучения, Э-1 - количество внедрений на предприятиях, не менее	-	Э-1=2	Э-1=5
		Технологии гибридных и гибких производственных линий функционируют на основе отечественных систем управления и обеспечивают стабильность повторяемости позиционирования не менее ±0,1 мм (ISO 9283), количество управляемых осей не менее 7; Т-1 - стабильность повторяемости позиционирования гибридных и гибких производственных линий на основе отечественных систем управления, мм	-	-	Т-1= ±0,1 мм
		Автоматизация процессов производства на предприятиях: Э-1 - количество средних и крупных предприятий обрабатывающих отраслей промышленности, прошедших оценку уровня цифровой трансформации (получивших «цифровые паспорта») и подключённых к сервисам ГИСП, тыс. предприятий	-	Э-1=5,8	Э-1= 14,4
		Разработано комплексное платформенное решение для обработки, хранения и анализа данных геологоразведки с целью создания Цифрового месторождения; Э1 - платформенное решение внедрено и используется лидерами отрасли, не менее	-	Э-1=20	Э-1=60
		Разработаны программные решения, автоматизирующие процессы технического обслуживания и ремонта. Э-1- количество высокотехнологичных компаний в 5 приоритетных отраслях промышленности, внедривших программные решения, автоматизирующие процессы технического обслуживания и ремонта, позволяющие в режиме реального времени контролировать и производить ремонт по техническому состоянию.	Э-1=0	Э-1=20	Э-1=100

74 Консолидированное мнение экспертов ГК «Цифра» на основании решений заседания рабочей группы «Цифровые технологии» АНО «Цифровая экономика» 18.06.2019.

№	Субтехнология	Целевое состояние субтехнологии/техническая характеристика	2019	2021	2024
3.	Манипуляторы и технологии манипулирования	Разработаны технологии, обеспечивающие высокую точность обработки материалов роботами- манипуляторами; Т-1 - точность обработки материалов роботами-манипуляторами, мкм	Т-1= 100 мкм		Т-1 = 10 мкм
		Разработаны технологии, обеспечивающие деликатное манипулирование с точностью 0,1 мм усилием 1 Н и скоростью 0,1 м/с; Т-1 - скорость деликатного манипулирования, м/с	Т-1 = 0,1 м/с		Т-1 = 1 м/с
		Э-1 - увеличение численности сотрудников робототехнических компаний - интеграторов, количество сотрудников.	Э-1 = 200	Э-1= 400	Э-1= 1 000
		Э-1 - рынок промышленных робототехнических систем (млрд руб.).	Э-1=8	Э-1=25	Э-1=30
		Э-1 - доля отечественных разработчиков промышленной робототехники (%)	Э-1= 5%	Э-1=15%	Э-1=30%
		Э-1 - количество роботов, задействованных в производстве, на 10 000 работников	Э-1=4	Э-1=20	Э-1=40
		Э-1 - соотношение выпускаемых в стране промышленных роботов к потребляемым российским рынком, %	Э-1= 1%	Э-1=20%	Э-1=40%
		Выпуск отечественных манипуляторов для реального сектора экономики Э-1 - соотношение выпускаемых в стране промышленных роботов к потребляемым российским рынком, %	единичные образцы	Э-1=15%	Э-1=30%
		Э-2 - годовой объем поставок промышленных роботов в России, шт.	Э-2< 1 000	Э-2= 1 700	Э-2= 4 600
4.	Показатели и индикаторы федерального проекта «Цифровые технологии»	Достигнуты показатели и индикаторы федерального проекта «Цифровые технологии»: Э-1 - увеличение затрат на развитие «сквозных» цифровых технологий; Э-2 - увеличение объёма выручки проектов (разработка наукоёмких решений, по продвижению продуктов и услуг по заказу бизнеса) на основе внедрения технологий СЦТ «Новые производственные технологии» компаниями, получившими поддержку в рамках федерального проекта «Цифровые технологии»; Э-3 - количество РСТ-заявок по СЦТ «Новые производственные технологии», организациями, получившими поддержку в рамках национального проекта «Цифровая экономика».	Э-1= 100%	Э-1= 140%	Э-1= 300%
			Э-2= 100%	Э-2= 150%	Э-2= 250%
			Э-3= 100%	Э-2= 140%	Э-3= 300%

2. Цели и показатели ведомственного проекта «Цифровая промышленность» в рамках ДК СЦТ НПТ

- создание к 2024 году условий для цифровой трансформации промышленности, включая получение цифровых паспортов не менее чем 78 процентами (оценочно 14,4 тыс. предприятий) средних и крупных предприятий промышленности;
- создание в обрабатывающей промышленности высокопроизводительного экспортно-ориентированного сектора, развивающегося на основе современных технологий и обеспеченного высококвалифицированными кадрами (подпункт «и» пункта 1 Указа Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»);
- преобразование отраслей посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений (абзац 7 подпункта «б» пункта 11 Указа Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»);
- создание цифровой экосистемы для обеспечения взаимодействия хозяйствующих субъектов, в том числе вовлечение малых и средних предприятий в производственные цепочки крупных производителей;
- оптимизация и повышение эффективности производственных процессов с использованием преимущественно отечественных технологий и эффективная загрузка производственных мощностей;
- продвижение продукции отечественных субъектов промышленности с использованием цифровых платформ на рынках государств-членов ЕАЭС и третьих стран.

№	Наименование показателя	Тип показателя	Базовое значение		Период, год						
			Значение	Дата	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Количество сервисов, предоставляемых с использованием ГИСП, шт.	Основной показатель	268	31.12.2018	268	348	433	449	465	481	497
2	Объем промышленной, торговой кооперации и субконтрактных заказов, осуществляемых с использованием сервисов ГИСП, трлн. руб	Основной показатель	1,2	31.12.2018	1,2	1,5	1,9	2,1	2,3	2,4	2,7
3	Количество средних и крупных предприятий обрабатывающих отраслей промышленности, прошедших оценку уровня цифровой трансформации (получивших «цифровые паспорта») и подключённых к сервисам ГИСП, тыс. предприятий	Основной показатель	0,5	31.12.2019	-	0,5	3,7	5,8	8,0	11,2	14,4
4	Увеличение объёма выручки проектов на основе внедрения «сквозных» цифровых технологий, %	Основной показатель	0	31.12.2019	-	0	100	120	150	190	220

3. Технологические задачи и предложения по их решению, ожидаемый результат применения мер, предлагаемые инструменты

Таблица 3. Направления, этапы и мероприятия по решению технологических задач

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.	**Субтехнология: Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design).**				
1.1.	**Технологическая задача: переход от традиционной парадигмы проектирования (доводка продуктов / изделий до требуемых характеристик на основе натурных испытаний, 5 итераций в среднем) к новой парадигме цифрового проектирования и моделирования - технологии разработки и применения цифровых двойников, обеспечивающей, как правило, прохождение с первого раза физических и натурных испытаний (1 итерация) и определяющей критические зоны и характеристики на всех этапах жизненного цикла продукта / изделия.**				
1.1.1.	Создание Лидирующего исследовательского центра (ЛИЦ) по направлению «Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design)», программа деятельности Лидирующего исследовательского центра направлена на достижение соответствующих целевых показателей.	Разработаны и внедрены технологии создания цифровых двойников продуктов / изделий. Т-1 - сокращение времени разработки высокотехнологичных продуктов: на 25%; Т-2, % показателей матрицы целевых показателей и ограничений, обеспечивающих достижение целевых характеристик разрабатываемого изделия или продукции, определяемых и обосновываемых результатами виртуальных испытаний (по отраслям): 50–100%; Т-3 – разработанные и внедрённые технологии создания цифровых двойников продуктов / изделий на основе десятков тысяч целевых показателей обеспечивают при экспертном сопровождении прохождение с первого раза физических и натурных испытаний (1 итерация), определение критических зон и характеристик для мониторинга на всем жизненном цикле, количество итераций в приоритетных отраслях промышленности.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка программ деятельности ЛИЦ	АО «РВК»
1.1.2.	Запуск проектов по разработке и сопровождению цифровых двойников в области автомобилестроения в рамках проектного консорциума / в формате «зеркального» инжинирингового центра.	Э-1 - количество высокотехнологичных предприятий из приоритетных отраслей промышленности, применяющих технологию разработки цифровых двойников: 20; Э-2 - количество проектов на высокотехнологичных предприятиях из приоритетных отраслей промышленности, для реализации которых была применена технология разработки цифровых двойников: 50.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка отраслевых решений, поддержка разработки и внедрения промышленных решений, поддержка региональных проектов	Фонд «Сколково», Минпромторг России. Российский фонд развития информационных технологий

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.1.3	Запуск проектов по разработке и сопровождению цифровых двойников в области авиастроения в рамках проектного консорциума / в формате «зеркального» инжинирингового центра.	Э-1 - количество высокотехнологичных предприятий из приоритетных отраслей промышленности, применяющих технологию разработки цифровых двойников: 20; Э-2 - количество проектов на высокотехнологичных предприятиях из приоритетных отраслей промышленности, для реализации которых была применена технология разработки цифровых двойников: 50.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка отраслевых решений, поддержка разработки и внедрения промышленных решений, поддержка региональных проектов	Фонд «Сколково», Минпромторг России, Российский фонд развития информационных технологий
1.1.4	Запуск проектов по разработке и сопровождению цифровых двойников в области судостроения в рамках проектного консорциума / в формате «зеркального» инжинирингового центра.	Э-1 - количество высокотехнологичных предприятий из приоритетных отраслей промышленности, применяющих технологию разработки цифровых двойников: 20; Э-2 - количество проектов на высокотехнологичных предприятиях из приоритетных отраслей промышленности, для реализации которых была применена технология разработки цифровых двойников: 50.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка отраслевых решений, поддержка разработки и внедрения промышленных решений, поддержка региональных проектов	Фонд «Сколково», Минпромторг России, Российский фонд развития информационных технологий
1.1.5	Запуск проектов по разработке и сопровождению цифровых двойников в области двигателестрое- ния в рамках проектного консорциума / в формате «зеркального» инжинирингового центра.	Э-1 - количество высокотехнологичных предприятий из приоритетных отраслей промышленности, применяющих технологию разработки цифровых двойников: 20; Э-2 - количество проектов на высокотехнологичных предприятиях из приоритетных отраслей промышленности, для реализации которых была применена технология разработки цифровых двойников: 50.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка отраслевых решений, поддержка разработки и внедрения промышленных решений, поддержка региональных проектов	Фонд «Сколково», Минпромторг России, Российский фонд развития информационных технологий
1.1.6	Запуск проектов по разработке и сопровождению цифровых двойников в области машиностроения в рамках проектного консорциума / в формате «зеркального» инжинирингового центра.	Э-1 - количество высокотехнологичных предприятий из приоритетных отраслей промышленности, применяющих технологию разработки цифровых двойников: 20; Э-2 - количество проектов на высокотехнологичных предприятиях из приоритетных отраслей промышленности, для реализации которых была применена технология разработки цифровых двойников: 50.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка отраслевых решений, поддержка разработки и внедрения промышленных решений, поддержка региональных проектов	Фонд «Сколково», Минпромторг России, Российский фонд развития информационных технологий

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.2	**Технологическая задача: разработка отечественной PLM-системы «тяжёлого» класса (включая CAD / CAM / CAE- подсистемы), поддерживающей все стадии разработки изделий: от создания концепта и проектирования до изготовления на базе отечественной платформы полного жизненного цикла изделий. Разработка функциональных элементов, обеспечивающих автоматическую оценку технологической реализуемости производства на ранних этапах проектирования изделия или продукции. Разработка системы управления цифровым профилем изделий.**				
1.2.1	Разработка отечественной PLM-системы «средне-тяжёлого» класса, в том числе в защищённом исполнении.	Разработана отечественная PLM-система «среднетяжёлого» класса, в том числе в защищённом исполнении.	2019 г. – 2021 г.	Поддержка компаний-лидеров	АО «РВК»
1.2.2	Разработка отечественной PLM-системы «тяжёлого» класса, в том числе в защищённом исполнении.	Разработана отечественная PLM-система «тяжёлого» класса (включая CAD / CAM / CAE- подсистемы), в том числе в защищённом исполнении.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка компаний-лидеров	АО «РВК»
1.2.3	Разработка функциональных элементов PLM-системы, обеспечивающих автоматическую оценку технологической реализуемости производства на ранних этапах проектирования изделия или продукции (УГТ 4–5 изделия). Разработка платформы управления цифровым профилем изделий.	Разработаны функциональные элементы PLM-системы. Т-1 - этап разработки изделия или продукции (УГТ), на котором доступна автоматическая оценка технологичности производства разрабатываемого изделия или продукции: автоматическая оценка технологичности для ранних этапов (УГТ 4-5 изделия). Разработана платформа управления цифровым профилем изделий, обеспечивающая полную прослеживаемость на всем жизненном цикле изделия: начиная от момента проектирования отдельных деталей и узлов, включая контроль на стадии производства, заканчивая - эксплуатацией готового изделия. Э-1 – количество типовых изделий в 5 приоритетных отраслях промышленности, подключенных к системе цифрового профиля изделия: 100.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Минпромторг России
1.2.4	Пилотное внедрение разработанной отечественной PLM-системы «тяжёлого» класса на предприятиях.	Т-1 – сокращение времени разработки высокотехнологичных продуктов: 15 %. Э-1 – количество высокотехнологичных предприятий из приоритетных отраслей промышленности, использующих разработанную PLM-систему: 25; Э-2 – количество проектов на высокотехнологичных предприятиях из приоритетных отраслей промышленности, для реализации которых была применена PLM-система «тяжёлого» класса: 50; Э-3 – количество пользователей PLM-системы: 10 000.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Минпромторг России

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.3	**Технологическая задача: формирование национального Digital Brainware. Разработка для 5 приоритетных отраслей Национальной базы математических моделей высокого уровня адекватности (отличие между результатами моделирования и натурных испытаний в пределах ± 5%) на основе архивов физических и натурных экспериментов, обеспечивающей преемственность с накопленным научно-технологическим опытом, основанном на дорогостоящих и зачастую уникальных экспериментах; обеспечение обновления Национальной базы математическими моделями высокого уровня адекватности в части новых серий экспериментов, в том числе направленных на применение новых материалов.**				
1.3.1	Разработка концепции создания Национальной базы математических моделей высокого уровня адекватности, включая механизмы управления правами на результаты интеллектуальной деятельности, финансовую модель функционирования, условия доступа, технические требования.	Разработана концепция создания Национальной базы математических моделей высокого уровня адекватности, включая механизмы управления правами на результаты интеллектуальной деятельности, финансовую модель функционирования, условия доступа, технические требования.	2019 г. – 2020 г.	Поддержка программ деятельности ЛИЦ	АО «РВК»
1.3.2	Разработка виртуальных испытательных стендов как элементов Национальной базы и разработка математических моделей высокого уровня адекватности на основе архивов физических и натурных экспериментов в области автомобилестроения (Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов (включая производство двигателей для автотранспортных средств)).	Т-1 – % испытательных стендов (по отраслям), входящих в состав Национальной базы математических моделей высокого уровня адекватности, от общего числа испытательных стендов: 25 %.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка отраслевых решений	Фонд «Сколково»

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.3.3	Разработка виртуальных испытательных стендов как элементов Национальной базы и разработка математических моделей высокого уровня адекватности на основе архивов физических и натурных экспериментов в области авиастроения (производство летательных аппаратов, включая космические, и соответствующего оборудования).	Т-1 – % испытательных стендов (по отраслям), входящих в состав Национальной базы математических моделей высокого уровня адекватности, от общего числа испытательных стендов: 25 %.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка отраслевых решений	Фонд «Сколково»
1.3.4	Разработка виртуальных испытательных стендов как элементов Национальной базы и разработка математических моделей высокого уровня адекватности на основе архивов физических и натурных экспериментов в области судостроения и кораблестроения (строительство кораблей, судов и лодок).	Т-1 – % испытательных стендов (по отраслям), входящих в состав Национальной базы математических моделей высокого уровня адекватности, от общего числа испытательных стендов: 15%.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка отраслевых решений	Фонд «Сколково»
1.3.5	Разработка виртуальных испытательных стендов как элементов Национальной базы и разработка математических моделей высокого уровня адекватности на основе архивов физических и натурных экспериментов в области двигателестроения (производство силовых установок и двигателей для летательных аппаратов, включая космические).	Т-1 – % испытательных стендов (по отраслям), входящих в состав Национальной базы математических моделей высокого уровня адекватности, от общего числа испытательных стендов: 25 %.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка отраслевых решений	Фонд «Сколково»

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.3.6	Разработка виртуальных испытательных стендов как элементов Национальной базы и разработка математических моделей высокого уровня адекватности на основе архивов физических и натурных экспериментов в области машиностроения, включая атомное, нефтегазовое, тяжёлое, специальное машиностроение, железнодорожный транспорт (производство машин и оборудования общего назначения).	Т-1 – % испытательных стендов (по отраслям), входящих в состав Национальной базы математических моделей высокого уровня адекватности, от общего числа испытательных стендов: 25 %.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка отраслевых решений	Фонд «Сколково»
1.4	**Технологическая задача: цифровая платформа разработки цифровых двойников, способная учитывать 150 000 целевых показателей и ресурсных ограничений, использующая смежные «сквозные» цифровые технологии искусственного интеллекта, больших данных, распределённых реестров, экспертное сопровождение и прохождение с первого раза физических и натурных испытаний, адаптирована для 5-ти приоритетных отраслей.**				
1.4.1	Разработка функциональных элементов Цифровой платформы разработки цифровых двойников, обеспечивающих реализацию проектов распределёнными группами инженеров в области автомобилестроения (производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов, включая производство двигателей для автотранспортных средств)	Цифровая платформа внедрена в 10 высокотехнологичных компаниях, сформирована национальная сетецентрическая экосистема из 5 «зеркальных» инжиниринговых центров, объединяющая 500 экспертов - пользователей. Т-1 – целевые показатели и ресурсные ограничения, учитываемые матрицей целевых показателей и ограничений Цифровой платформы разработки цифровых двойников: 150000; Э-1 – количество пользователей Цифровой платформы разработки цифровых двойников: 500.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка отраслевых решений	Фонд «Сколково»

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.4.2	Разработка функциональных элементов Цифровой платформы разработки цифровых двойников, обеспечивающих реализацию проектов распределёнными группами инженеров в области авиастроения и ракетно-космической техники (производство летательных аппаратов, включая космические, и соответствующего оборудования)	Цифровая платформа внедрена в 10 высокотехнологичных компаниях, сформирована национальная сетецентрическая экосистема из 5 «зеркальных» инжиниринговых центров, объединяющая 500 экспертов - пользователей. Т-1 – целевые показатели и ресурсные ограничения, учитываемые матрицей целевых показателей и ограничений Цифровой платформы разработки цифровых двойников: 150000; Э-1 – количество пользователей Цифровой платформы разработки цифровых двойников: 500.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка отраслевых решений	Фонд «Сколково»
1.4.3	Разработка функциональных элементов Цифровой платформы разработки цифровых двойников, обеспечивающих реализацию проектов распределёнными группами инженеров в области судостроения и кораблестроения (строительство кораблей, судов и лодок)	Цифровая платформа внедрена в 10 высокотехнологичных компаниях, сформирована национальная сетецентрическая экосистема из 5 «зеркальных» инжиниринговых центров, объединяющая 500 экспертов - пользователей. Т-1 – целевые показатели и ресурсные ограничения, учитываемые матрицей целевых показателей и ограничений Цифровой платформы разработки цифровых двойников: 150000; Э-1 – количество пользователей Цифровой платформы разработки цифровых двойников: 500.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка отраслевых решений	Фонд «Сколково»
1.4.4	Разработка функциональных элементов Цифровой платформы разработки цифровых двойников, обеспечивающих реализацию проектов распределёнными группами инженеров в области двигате- лестроения (производство силовых установок и двигателей для летательных аппаратов, включая космические)	Цифровая платформа внедрена в 10 высокотехнологичных компаниях, сформирована национальная сетецентрическая экосистема из 5 «зеркальных» инжиниринговых центров, объединяющая 500 экспертов - пользователей. Т-1 – целевые показатели и ресурсные ограничения, учитываемые матрицей целевых показателей и ограничений Цифровой платформы разработки цифровых двойников: 150000; Э-1 – количество пользователей Цифровой платформы разработки цифровых двойников: 500.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка отраслевых решений	Фонд «Сколково»

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.4.5	Разработка функциональных элементов Цифровой платформы разработки цифровых двойников, обеспечивающих реализацию проектов распределёнными группами инженеров в области машиностроения, включая атомное, нефтегазовое, тяжёлое, специальное машиностроение, железнодорожный транспорт (производство машин и оборудования общего назначения)	Цифровая платформа внедрена в 10 высокотехнологичных компаниях, сформирована национальная сетецентрическая экосистема из 5 «зеркальных» инжиниринговых центров, объединяющая 500 экспертов - пользователей. Т-1 – целевые показатели и ресурсные ограничения, учитываемые матрицей целевых показателей и ограничений Цифровой платформы разработки цифровых двойников: 150000; Э-1 – количество пользователей Цифровой платформы разработки цифровых двойников: 500.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка отраслевых решений	Фонд «Сколково»
1.5	**Технологическая задача: платформа цифровой сертификации обеспечивает экспертное сопровождение разработки и применения цифровых моделей и виртуальных испытательных стендов для ускоренной сертификации материалов и изделий.**				
1.5.1	Разработка функциональных элементов платформы цифровой сертификации, обеспечивающих экспертное сопровождение разработки и применения цифровых моделей и виртуальных испытательных стендов для ускоренной сертификации материалов и изделий, предполагающих применение новых производственных технологий: новых материалов, технологий аддитивного производства.	Разработаны функциональные элементы платформы цифровой сертификации материалов и изделий, предполагающих применение новых производственных технологий: новых материалов, технологий аддитивного производства.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Минпромторг России

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.5.2	Пилотное внедрение платформы цифровой сертификации на предприятиях.	Платформа цифровой сертификации обеспечивает экспертное сопровождение разработки и применения цифровых моделей и виртуальных испытательных стендов для ускоренной сертификации материалов и изделий: Э-1 – количество материалов и изделий, прошедших ускоренную сертификацию на основании виртуальных испытаний, не менее 50; Э-2 – количество компаний, использующих платформу для вывода материалов и изделий на рынок, не менее 10.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Минпромторг России
1.6	**Технологическая задача: платформенные решения для правовой охраны и управления правами на цифровые модели и объекты обеспечивают охрану в режиме авторского/ патентного права (как промышленный образец) / лицензирование.**				
1.6.2	Разработка платформы правовой охраны и управления правами на цифровые модели и объекты. Разработка функциональных элементов платформы правовой охраны и управления правами на цифровые модели и объекты в режиме авторского, патентного права, лицензирования.	Платформенные решения для правовой охраны и управления правами на цифровые модели и объекты обеспечивают охрану в режиме авторского/патентного права (как промышленный образец) / лицензирование: Э-1 – % от общего числа элементов, созданных «цифровых двойников», охрана которых обеспечена в режимах авторского/ патентного права (как промышленный образец) / лицензирование: 100 / 25 / 30.	2019 г. - 2021 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Минпромторг России
1.6.3	Разработка технологии фиксации возникающих прав на цифровой объект как произведение, базу данных, промышленный образец и перехода таких прав на основе смарт-контрактов с помощью сети транзакций прав и объектов интеллектуальной собственности.	Разработаны технологии фиксации возникающих прав на цифровой объект как произведение, базу данных, промышленный образец и перехода таких прав на основе смарт-контрактов с помощью сети транзакций прав и объектов интеллектуальной собственности.	2019 г. - 2021 г..	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Минпромторг России

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.7	**Технологическая задача: платформа полного жизненного цикла обеспечивает сервисы для разработки специализированного прикладного инженерного ПО на базе отечественной платформы и геометрического ядра.**				
1.7.1	Разработка отечественной платформы полного жизненного цикла для разработки специализированного прикладного инженерного ПО на базе отечественной платформы и геометрического ядра.	Разработана платформа полного жизненного цикла, обеспечивающая сервисы для разработки специализированного прикладного инженерного ПО на базе отечественной платформы и геометрического ядра.	2019 г. - 2021 г.	Поддержка путем субсидирования процентной ставки по кредиту	Минкомсвязи России
1.7.2	Пилотное внедрение отечественной платформы полного жизненного цикла для разработки специализированного прикладного инженерного ПО.	Э-1 – количество прикладных решений, разработанных на платформе полного жизненного цикла: 25; Э-2 – количество сертифицированных специалистов, подготовленных для проектирования инженерного ПО на базе платформы жизненного цикла: 100.	2019 г. - 2021 г.	Поддержка путем субсидирования процентной ставки по кредиту	Минкомсвязи России
1.8	**Технологическая задача: разработка решений, отдельных функциональных элементов решений, соответствующих элементам технологической карты субтехнологии / перечню востребованных решений.**				
1.8.1	Разработка решений, отдельных функциональных элементов решений: технологии разработки и сопровождения цифровых двойников (Digital Twin, DT); технологии оптимизации (Computer-Aided Optimization, CAO); технологии управления процессами проектирования, моделирования и данными (Simulation Process & Data Management, SPDM); технологии управления данными о продукте (Product Data Management, PDM).	Разработаны решения, соответствующие элементам технологической карты субтехнологии / перечню востребованных решений: технологии разработки и сопровождения цифровых двойников (Digital Twin, DT); технологии оптимизации (Computer-Aided Optimization, CAO); технологии управления процессами проектирования, моделирования и данными (Simulation Process & Data Management, SPDM); технологии управления данными о продукте (Product Data Management, PDM).	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России.

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.8.2	Разработка решений, отдельных функциональных элементов решений: планирование производственных технологических процессов (Computer-Aided Process Planning, CAPP); технологическая подготовка производства (Computer-Aided Manufacturing, CAM); - интегрированная логистическая поддержка (Integrated Logistics Support, ILS).	Разработаны решения, соответствующие элементам технологической карты субтехнологии / перечню востребованных решений: планирование производственных технологических процессов (Computer-Aided Process Planning, CAPP); технологическая подготовка производства (Computer- Aided Manufacturing, CAM); – интегрированная логистическая поддержка (Integrated Logistics Support, ILS).	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России.
1.8.3	Разработка решений, отдельных функциональных элементов решений: - платформенные решения для эксплуатационного мониторинга: постпродажное обслуживание изделий и предиктивная аналитика.	Разработаны решения, соответствующие элементам технологической карты субтехнологии / перечню востребованных решений: - платформенные решения для эксплуатационного мониторинга: постпродажное обслуживание изделий и предиктивная аналитика. Э-1 – количество типовых изделий в 5 приоритетных отраслях промышленности, процесс послепродажного обслуживания которых автоматизирован – 100.	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России.
1.9	**Технологическая задача: создание цифровых двойников исследовательских установок и цифровой среды, обеспечивающей реализацию дистанционного доступа к цифровым двойникам исследовательских установок.**				
1.9.1	Отбор и поддержка проектных инициатив, направленных на достижение соответствующих целевых показателей.	Созданы цифровые двойники исследовательских установок и цифровая среда, обеспечивающая реализацию дистанционного доступа к цифровым двойникам исследовательских установок. Создана инфраструктура и обеспечены возможности проведения удалённых on-line исследований в режиме реального времени с возможностью дистанционной постановки задач и контроля, обработки и анализа данных с использованием средств обработки и анализа «больших» данных, реализация международных проектов по созданию облачных средств AI для проведения перспективных научных исследований.	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
1.10	**Технологическая задача: создан сервис, обеспечивающий доступ к облачным вычислительным мощностям, функционирующий по модели «on demand».**				
1.10.1	Отбор и поддержка проектных инициатив, направленных на достижение соответствующих целевых показателей.	Сервис, обеспечивающий доступ к облачным вычислительным мощностям, функционирующий по модели «on demand». Э-1 – количество пользователей сервиса: 2 500.	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России
1.11	**Технологическая задача: разработаны платформенные решения, реализующее сервисный подход «База доступных технологий» и «База доступных мощностей».**				
1.10.1	Отбор и поддержка проектных инициатив, направленных на достижение соответствующих целевых показателей.	Платформенные решения, реализующее сервисный подход «База доступных технологий» и «база доступных мощностей» Э-1 – количество компаний, использующих базы, не менее 10.	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России.
2.	**Субтехнология: Технологии «умного» производства (Smart Manufacturing)**				
2.1	**Технологическая задача: разрабатываемые решения обеспечивают подготовку и наладку производства на основе интеграции данных из PLM-системы с минимальным участием человека, в том числе обеспечивающей применение аннотированных электронных моделей в конструкторско-технологической подготовке производства (сокращение участия человека до 65%).**				
2.1.1	Отбор и поддержка проектных инициатив, направленных на достижение соответствующих целевых показателей.	Разрабатываемые решения обеспечивают подготовку и наладку производства на основе интеграции данных из PLM-системы с минимальным участием человека, в том числе обеспечивающей применение аннотированных электронных моделей в конструкторско-технологической подготовке производства. Т-1 – участие человека в подготовке и наладке производства, % от выполняемых операций: 65%.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Минпромторг России

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
2.2	**Технологическая задача: развитие функциональных элементов на базе отечественных MES-систем, в том числе обеспечивающих использование технологий искусственного интеллекта, больших данных, интернета вещей и оптимизирующая процесс планирования производства с учётом «быстрых» переналадок и партий запуска.**				
2.2.1	Разработка функциональных элементов на базе отечественных MES-систем, комплементарных с технологиями искусственного интеллекта, больших данных, интернета вещей и оптимизирующих процесс планирования производства с учётом «быстрых» переналадок и партий запуска.	Разработаны функциональные элементы на базе отечественных MES-систем, комплементарных с технологиями искусственного интеллекта, больших данных, интернета вещей и оптимизирующих процесс планирования производства с учётом «быстрых» переналадок и партий запуска.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка компаний-лидеров	АО «РВК»
2.2.2	Разработка функциональных элементов MES-системы, обеспечивающих оптимизацию производственных расписаний на уровне холдингов на основе данных платформенных решений для производства, промышленного интернета.	Модуль оптимизации производственных расписаний на уровне холдингов на основе данных платформенных решений для производства, промышленного интернета.	2019 г. – 2021 г.	Поддержка компаний-лидеров	АО «РВК»
2.2.3	Разработка функциональных элементов MES-системы, обеспечивающих децентрализованное планирование.	Модуль децентрализованного планирования.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка компаний-лидеров	АО «РВК»
2.2.4	Разработка функциональных элементов на основе отечественной MES-системы, обеспечивающих интеграцию с системами межзаводской кооперации и управления производственно-технологическим потенциалом крупных холдингов и государственных корпораций.	Разработаны функциональные элементы, обеспечивающие интеграцию с системами межзаводской кооперации и управления производственно-технологическим потенциалом крупных холдингов и государственных корпораций.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка компаний-лидеров	АО «РВК»

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
2.2.5	Пилотное внедрение функциональных элементов на основе отечественной MES-системы на предприятиях.	Э-1 - MES-система внедрена на высокотехнологичных предприятиях, не менее 1000; Э-2 - количество пользователей MES-системы, не менее 10 000.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Минпромторг России
2.3	**Технологическая задача: развитие функциональных элементов на базе отечественных ERP-систем; разработка решений и функциональных э управления непрерывным производством, система управления кооперационным производством, позволяющая в режиме реального времени ве и учёт по всей цели кооперации, система управления производственно-техническим потенциалом на уровне холдингов и государственных корлементов: система сти планирование эпораций.**				
2.3.1	Разработка функциональных элементов ERP-системы, обеспечивающих высокую степень автоматизации стандартизированных процессов управления предприятием (ввод первичных данных, кадровое делопроизводство и т. д.).	Модуль автоматизации процессов предприятия высокой степени стандартизации (ввод первичных данных, кадровое делопроизводство и т.д.).	2019 г. - 2024 г.	Поддержка компаний-лидеров	АО «РВК»
2.3.2	Разработка функциональных элементов ERP-системы, обеспечивающих реализацию доверенных поставок и транзакций среди участников кооперации.	Модуль доверенных поставок и транзакций среди участников кооперации.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка компаний-лидеров	АО «РВК»
2.3.3	Развитие функциональных элементов, комплементарны с технологиями искусственного интеллекта, больших данных и распределённых реестров, на базе отечественных платформ; разработка решений и функциональных элементов: - системы управления производством, в том числе - системы управления непрерывным производством; - система управления кооперационным производством,	Развиты функциональные элементы, комплементарные с технологиями искусственного интеллекта, больших данных и распределённых реестров, на базе отечественных платформ; разработаны решения и функциональные элементы: - системы управления производством, в том числе системы управления непрерывным производством; - система управления кооперационным производством, позволяющая в режиме реального времени вести планирование и учёт по всей цели кооперации; - система управления производственно -техническим потенциалом на уровне холдингов и государственных корпораций; - ERP-система; - универсальная интеграционная шина данных. Э-1 - решения внедрены на высо-	2019 г. - 2024 г.	Поддержка компаний-лидеров, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	АО «РВК», Минпромторг России

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
	позволяющая в режиме реального времени вести планирование и учёт по всей цели кооперации; - система управления производственно-техническим потенциалом на уровне холдингов и государственных корпораций; - универсальная интеграционная шина данных.	котехнологичных предприятиях, не менее 500 (для каждого решения в рамках пп.); Э-2 - количество сертифицированных пользователей внедрённых решений, не менее 10 000.			
2.3.4	Внедрение функциональных элементов ERP-системы на предприятиях.	Э-1 - решения внедрены на высокотехнологичных предприятиях, не менее 1000; Э-2 - количество сертифицированных пользователей внедрённых решений, не менее 10 000.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Минпромторг России
2.4	**Технологическая задача: разработка платформенных решений для промышленного интернета.**				
2.4.1	Проведение детального анализа рынка платформенных решений для промышленного интернета и их компонентов (СУБД, ИИ, Поддержка принятия решений и аналитика, СХД) по отраслям в России и за рубежом (технико-экономические характеристики, объем рынка).	Детальный перечень важнейших и перспективных платформенных решений для промышленного интернета и их компонентов по отраслям в России и за рубежом (технико-экономические характеристики, объем рынка в денежном и натуральном выражении).	2019 г. - 2020 г.	Поддержка программ деятельности ЛИЦ	АО «РВК»
2.4.2	Формирование плана и бюджета исследований и разработок по отобранному перечню платформенных решений для промышленного интернета и их компонентов.	Сформированный план и бюджет исследований и разработок по отобранному перечню платформенных решений для промышленного интернета и их компонентов.	2019 г. - 2020 г.	Поддержка программ деятельности ЛИЦ	АО «РВК»
2.4.3	Отбор организаций для реализации исследований и разработок по отобранному перечню в рамках субтехнологии «Платформы для промышленного интернета».	Отобраны организации для реализации исследований и разработок по отобранному перечню в рамках субтехнологии «Платформы для промышленного интернета».	2019 г. - 2020 г.	Поддержка программ деятельности ЛИЦ	АО «РВК»

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
2.4.4	Выполнение работ по созданию компонентов платформенных решений для промышленного интернета в соответствии с перечнем с учётом совместимости с имеющимися платформенными решениями.	Созданы компоненты платформенных решений для промышленного интернета в соответствии с перечнем, пригодные для массового (промышленного) использования, отвечающие требованиям совместимости (не менее 1 по каждому компоненту). Платформенные решения для промышленного интернета функционируют со скоростью более 10 млрд сигналов/с на локальных серверах; применяются технологии искусственного интеллекта и бизнес- аналитики; СУБД и алгоритмы оптимизированы для локальных вычислительных систем; (промышленных компьютеров). СУБД и алгоритмы используют кластерные решения для функционирования.	2019 г. - 2020 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка отраслевых решений, поддержка разработки и внедрения промышленных решений, поддержка региональных проектов, поддержка путем субсидирования процентной ставки по кредиту	Фонд содействия инновациям, Фонд «Сколково», Минпромторг России, Российский фонд развития информационных технологий, Минкомсвязи России
2.4.5	Создание пилотных зон, мер стимулирования и пилотирования (испытания) на совместимость с приоритетными иностранными решениями.	Создано не менее 3х отраслевых пилотных зон, разработаны меры стимулирования и выполняется пилотирование (испытания) создаваемых решений.	2019 г. - 2022 г.	Поддержка путем субсидирования процентной ставки по кредиту	Минкомсвязи России
2.4.6	Внедрение (замещение) платформенных решений для промышленного интернета и их компонентов в случае соответствия российским и мировым требованиям (функционал и стоимость) обеспечение совместимости с Сенсорными системами и Сетями связи.	Э-1 - платформенные решения для промышленного интернета внедрены на высокотехнологичных предприятиях, не менее 15	2019 г. - 2024 г.	Поддержка путем субсидирования процентной ставки по кредиту	Минкомсвязи России
2.4.7	Проведение мероприятий по экспорту созданных решений для промышленного интернета, (продвижение, СП с иностранными компаниями, финансирование, логистика и поддержка, создание сервисов на базе компонентов).	100% решений представлены 10 крупнейшим мировым компаниям (Cisco, IBM, GE, Huawei). Торговые представительства РФ продвигают российские решения, в том числе на профильных мировых выставках.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка путем субсидирования процентной ставки по кредиту	Минкомсвязи России

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
2.4.8	Защита интеллектуальной собственности (патентование в требуемых объёмах) в части решений для промышленного интернета.	100% критичных решений защищены патентами.	2019 г. – 2023 г.	Грантовая поддержка малых предприятий	Фонд содействия инновациям
2.4.9	Обеспечение мер по защите от промышленного шпионажа в части промышленного интернета.	Приняты меры нормативного и мотивационного характера для предотвращения утечек информации о ключевых разработках (ИИ промышленного).	2019 г. – 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий	Фонд содействия инновациям
2.5	**Технологическая задача: технологии гибридных и гибких производственных линий функционируют на основе отечественных систем управления и обеспечивают стабильность повторяемости позиционирования не менее ±0,1 мм (ISO 9283), количество управляемых осей не менее 7.**				
2.5.1	Отбор и поддержка проектных инициатив, направленных на достижение соответствующих целевых показателей.	Т-1 - стабильность повторяемости позиционирования гибридных и гибких производственных линий на основе отечественных систем управления, ±0,1 мм.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений, поддержка региональных проектов, поддержка отраслевых решений	Минпромторг России, Российский фонд развития информационных технологий, Фонд «Сколково»
2.6	**Технологическая задача: достигнут общий уровень автоматизации процессов производства 70% на предприятиях в 5 приоритетных отраслях; средние и крупные предприятия обрабатывающих отраслей промышленности прошли оценку уровня цифровой трансформации (получили «цифровые паспорта») и подключены к сервисам ГИСП.**				
2.6.1	Отбор и поддержка проектных инициатив, направленных на достижение соответствующих целевых показателей: получение промышленными предприятиями «цифровых паспортов», способствующих оперативному контролю за общим уровнем цифровизации, определению наиболее сложных этапов цифровой трансформации и индивидуальному определению наиболее эффективных мер государственной поддержки в отношении каждого предприятия.	Э-1 - Количество средних и крупных предприятий обрабатывающих отраслей промышленности, прошедших оценку уровня цифровой трансформации (получивших «цифровые паспорта») и подключённых к сервисам ГИСП, 14,4 тыс. предприятий.	2019 г. – 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений, поддержка региональных проектов, поддержка отраслевых решений	Минпромторг России, Российский фонд развития информационных технологий, Фонд «Сколково»

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
2.7	**Технологическая задача: разработана и внедрена платформа для сбора и анализа данных производственного оборудования и технологических процессов для целей оптимизации с использованием алгоритмов и методов машинного обучения.**				
2.7.1	Отбор и поддержка проектных инициатив, направленных на достижение соответствующих целевых показателей.	Разработана и внедрена платформа для сбора и анализа данных производственного оборудования и технологических процессов для целей оптимизации с использованием алгоритмов и методов машинного обучения, Э-1 - количество внедрений на предприятиях: не менее 5.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений, поддержка региональных проектов, поддержка отраслевых решений	Минпромторг России, Российский фонд развития информационных технологий, Фонд «Сколково»
2.8	**Технологическая задача: разработка решений, отдельных функциональных элементов решений, соответствующих элементам технологической карты субтехнологии / перечню востребованных решений.**				
2.8.1	Разработка решений, отдельных функциональных элементов решений: - программное обеспечение для получения, обработки и передачи информации, получаемой как от датчиков, встроенных в устройство, так и от сторонних источников; - мобильные цифровые устройства, оснащённые модулями беспроводной связи для получения и передачи данных; - системы управления технологическим процессом (АСУ ТП): человеко-машинный интерфейс (Human-Machine Interface, HMI), SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition), датчики, исполнительные устройства, приводные системы и роботизированные механизмы, системы идентификации (Radio Frequency IDentification, RFID, штрих-коды).	Разработаны и внедрены решения, отдельные функциональные элементы решений: - программное обеспечение для получения, обработки и передачи информации, получаемой как от датчиков, встроенных в устройство, так и от сторонних источников; - мобильные цифровые устройства, оснащённые модулями беспроводной связи для получения и передачи данных; - системы управления технологическим процессом (АСУ ТП): человеко-машинный интерфейс (HumanMachine Interface, HMI), SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition), датчики, исполнительные устройства, приводные системы и роботизированные механизмы, системы идентификации (Radio Frequency IDentification, RFID, штрих-коды).	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
2.8.2	Разработка решений, отдельных функциональных элементов решений: - системы управления бизнес-процессами (Business Process Management, BPM); - управление нормативно-справочной информацией (Master Data Management, MDM), системы бизнес-анализа (Business Intelligence, BI); - системы управления лабораторной информацией (Laboratory Information Management System, LIMS).	Разработаны и внедрены решения, отдельные функциональные элементы решений: - системы управления бизнес-процессами (Business Process Management, BPM); управление нормативно-справочной информацией (Master Data Management, MDM), - системы бизнес- анализа (Business Intelligence, BI); - системы управления лабораторной информацией (Laboratory Information Management System, LIMS).	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России
2.8.3	Разработка решений, отдельных функциональных элементов решений: - встраиваемый в IIoT -устройство криптографический модуль; - комплекс встроенных в IIoT-устройство механизмов / средств защиты информации (комплекс ВСЗИ).	Разработаны и внедрены решения, отдельные функциональные элементы решений: - встраиваемый в IIoT -устройство криптографический модуль; - комплекс встроенных в IIoT-устройство механизмов / средств защиты информации (комплекс ВСЗИ).	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России
2.8.4	Разработка решений, отдельных функциональных элементов решений: - планирование материалов; - управление производственными активами; информационная система мониторинга состояния производственного оборудования (системы класса MDC); - программный	Разработаны и внедрены решения, отдельные функциональные элементы решений: - планирование материалов; - управление производственными активами; - информационная система мониторинга состояния производственного оборудования (системы класса MDC): Э-1 - оснащение системами класса MDC, обеспечивающих получение данных с оборудования в режиме реального времени, в 5 приоритетных отраслях промышленности, 70%; - программный модуль для осуществления автоматического анализа и логической обработки	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
	модуль для осуществления автоматического анализа и логической обработки массива данных системы с выдачей результата в виде рекомендаций организационных действий и управленческих решений, направленных на повышение эффективности использования промышленного оборудования; - платформенные решения для мониторинга и управления энергоэффективностью; - планирование производства, в том числе автоматизированной системы управления материально-техническим обеспечением производства; - программные решения, автоматизирующие процессы технического обслуживания и ремонта: Э- 1- количество высокотехнологичных компаний в 5 приоритетных отраслях промышленности, внедривших программные решения, автоматизирующие процессы технического обслуживания и ремонта, позволяющие в режиме реального времени контролировать и производить ремонт по техническому состоянию; - платформенные решения для производства, обеспечивающие единую интеграционную среду CAD-PLM-CAPP-CAM систем и ведение технологических составов изделий, управление межцеховыми маршрутами изготовления, электронные технологические процессы с 3D- эскизами и интерактивными руководствами, автоматизацию расчёта трудовых норм, норм основных и вспомогательных материалов; - системы числового программного управления (ЧПУ) оборудованием.	массива данных системы с выдачей результата в виде рекомендаций организационных действий и управленческих решений, направленных на повышение эффективности использования промышленного оборудования; - платформенные решения для мониторинга и управления энергоэффективностью; планирование производства, в том числе автоматизированной системы управления материально-техническим обеспечением производства; - программные решения, автоматизирующие процессы технического обслуживания и ремонта: Э-1- количество высокотехнологичных компаний в 5 приоритетных отраслях промышленности, внедривших программные решения, автоматизирующие процессы технического обслуживания и ремонта, позволяющие в режиме реального времени контролировать и производить ремонт по техническому состоянию: 100; - платформенные решения для производства, обеспечивающие единую интеграционную среду CAD- PLM-CAPP-CAM систем и ведение технологических составов изделий, управление межцеховыми маршрутами изготовления, электронные технологические процессы с 3D-эскизами и интерактивными руководствами, автоматизацию расчёта трудовых норм, норм основных и вспомогательных материалов; - системы числового программного управления (ЧПУ) оборудованием.	2019 г. – 2024 г.		

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
2.8.5	Разработка решений, отдельных функциональных элементов решений: - платформенные решения в области обработки и анализа данных геологоразведки с целью создания Цифрового месторождения.	Разработаны и внедрены решения, отдельные функциональные элементы решений: - платформенные решения в области обработки и анализа данных геологоразведки с целью создания Цифрового месторождения; Э1 - платформенное решение внедрено и используется лидерами отрасли, не менее 60.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка региональных проектов, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России
3	**Субтехнология: Манипуляторы и технологии манипулирования.**				
3.1	**Технологическая задача: разработка и внедрение манипуляторов и технологий манипулирования для повышения общего уровня автоматизации процессов производства в соответствии с методическими рекомендациями Минпромторга России не менее 70%.**				
3.1.1	Создание высокотехнологичного промышленного манипулятора на базе отечественных компонентов.	Разработан высокотехнологичный промышленный манипулятор на базе отечественных компонентов. Т-1 - точность обработки материалов роботами-манипуляторами: 10 мкм; Т-2 - скорость деликатного манипулирования, 1 м/с.	2019 г. - 2024 г.	Грантовая поддержка малых предприятий, поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Фонд содействия инновациям, Минпромторг России
3.1.2	Создание отечественной компонентной базы для выпуска манипуляторов.	Создана отечественная компонентная база для выпуска манипуляторов.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений, предоставление субсидий кредитным организациям	Минпромторг России, Минкомсвязи России
3.1.3	Разработка отечественного контроллера для промышленных манипуляторов.	Разработан отечественный контроллер для промышленных манипуляторов.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений, грантовая поддержка малых предприятий	Минпромторг России, Фонд содействия инновациям
3.1.4	Создание конкурентоспособных решений на базе промышленных роботов для общих и узкоспециализированных операций.	Созданы конкурентоспособные решения на базе промышленных роботов для общих и узкоспециализированных операций.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений, поддержка отраслевых решений	Минпромторг России, Фонд «Сколково»

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
3.1.5	Выпуск отечественных манипуляторов для реального сектора экономики	Выпуск отечественных манипуляторов для реального сектора экономики Э-1-соотношение выпускаемых в стране промышленных роботов к потребляемым российским рынком, 40 %; Э-2 - годовой объем поставок промышленных роботов в России, 4600 шт.; Э-3 - рынок промышленных робототехнических систем (млрд руб.): 30; Э-4 -доля отечественных разработчиков промышленной робототехники (%): 30 %; Э-5 - увеличение численности сотрудников робототехнических компаний - интеграторов (человек): 1000; Э-6 - количество роботов, задействованных в производстве, на 10 000 работников, 40.	2019 г. - 2024 г.	Выпуск отечественных манипуляторов для реального сектора экономики	Минкомсвязи России, Российский фонд развития информационных технологий, Минпромторг России
3.2	**Технологическая задача: разработка технологий прецизионной обработки больших деталей и обслуживание технологических объектов на основе манипуляторов.**				
3.2.1	Разработка технологий прецизионной обработки больших деталей и обслуживания технологических объектов на основе манипуляторов	Разработаны технологии, обеспечивающие высокую точность обработки материалов роботами- манипуляторами; Т-1 - точность обработки материалов роботами-манипуляторами: 10 мкм; Т-2 - скорость деликатного манипулирования, 1 м/с.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений, грантовая поддержка малых предприятий	Минпромторг России, Фонд содействия инновациям
3.3	**Технологическая задача: разработка платформы и её компонентов для реализации и быстрой переналадки матричного производства.**				
3.3.1	Разработка технологической платформы для реализации матричного производства с использованием отечественных компонентов.	Создана платформа для реализации и быстрой переналадки матричного производства с использование отечественных компонентов.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка компаний-лидеров, грантовая поддержка малых предприятий	АО «РВК», Фонд содействия инновациям
3.3.2	Разработка компонентной базы для реализации матричного производства.	Созданы компоненты для реализации матричного производства.	2019 г. - 2024 г.	Поддержка компаний-лидеров, грантовая поддержка малых предприятий	АО «РВК», Фонд содействия инновациям

№	Необходимые мероприятия (действия) по решению технологической задачи	Ожидаемый результат с указанием характеристики	Срок реализации	Предлагаемый инструмент поддержки	Ответственные операторы мер поддержки
3.4	**Технологическая задача: отечественная разработка, производство или локализация выпуска актуаторов, исполнительных элементов и сенсорного оборудования.**				
3.4.1	Отечественная разработка, производство или локализация выпуска актуаторов, исполнительных элементов и сенсорного оборудования.	Отечественная разработка, производство или локализация выпуска актуаторов, исполнительных элементов и сенсорного оборудования; Э-1 - соотношение стоимости компонентов робототехники и сенсорики, выпускаемых в России, к потребляемым на территории страны - 30 %.	2019 г. - 2024 г.	Предоставление субсидий кредитным организациям, грантовая поддержка малых предприятий, поддержка региональных проектов, поддержка программ деятельности ЛИЦ	Минкомсвязи России, Фонд содействия инновациям, Российский фонд развития информационных технологий, АО «РВК»

К технологическим задачам и мероприятиям с наивысшим приоритетом относятся пп. 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.5, 1.2.1–1.2.3, 1.3.1,1.3.3, 1.3.5,1.4.2, 1.4.4,1.5.1 ,1.6.1 1.6.3 ,1.7.1 , 1.9.1, 2.1.1, 2.2.1, 2.4.1–2.4.4, 2.5.1, 3.1.1–3.1.5, 3.2.1.

С высоким приоритетом 1.1.5, 1.2.4, 1.3.2, 1.3.6, 1.4.1, 1.4.5, 1.5.2, 1.7.2, 1.8.1-1.8.3, 2.2.2–2.2.4, 2.3.1–2.3.4, 2.4.5, 2.6.1, 2.7.1, 2.8.1–2.8.5, 3.3.1-3.3.2.

Со средним приоритетом 1.1.4, 1.3.4, 1.4.3, 1.10.1, 1.11.1, 2.2.5, 2.4.6–2.4.9, 3.4.1

Таблица 4. Отраслевые проекты и иные мероприятия/проекты в рамках реализации ДК СЦТ НПТ

№	Направление развития	Состояние на 2019 год	Целевой результат на 2024 год	Потенциальные участники реализации
1.	Отраслевые проекты и иные проекты / мероприятия	- Фрагментарное использование новых производственных технологий в создании конкурентоспособной продукции; - Отсутствует полноценная инфраструктура для испытания и внедрения новых производственных технологий; - Отсутствие методик подготовки ТЭО проектов внедрения СЦТ НПТ, отраслевых стандартов в области СЦТ НПТ; - Отсутствие стратегического видения в части цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием, создающих спрос на СЦТ.	- Создано 20 испытательных полигонов, внедрено 150 решений в области СЦТ НПТ предприятиями в отраслях: автомобилестроение, авиастроение, вертолётостроение, судостроение и кораблестроение, двигателестроение, тяжёлое и специальное машиностроение, приборостроение, нефтегазовое машиностроение, энергомашиностроение, ракетно-космическая техника и др.; - Разработано 15 технологических стандартов в области СЦТ НПТ (по 3 субтехнологиям, в 5 отраслях), учитывающих в том числе требования к обеспечению совместимости отечественных разработок с действующими зарубежными, требования к интероперабельности[75]; - Разработаны и внедрены методические рекомендации подготовки ТЭО проектов внедрения СЦТ НПТ (по 3 субтехнологиям, в 5 отраслях); - Разработано и применено 10 стратегий цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием, создающих спрос на СЦТ	Проектные консорциумы: заказчики из приоритетных отраслей ДК и разработчики, органы стандартизации, МКС, МПТ и др.

75 Консолидированное мнение экспертов ГК «Цифра» на основании решений заседания рабочей группы «Цифровые технологии» АНО «Цифровая экономика» 18.06.2019.

На основании рекомендаций членов рабочей группы АНО «Цифровая экономика» по направлению «Цифровые технологии», а также экспертов и представителей федеральных органов исполнительной власти ДК СЦТ НПТ предполагает функциональную интеграцию целей и задач ведомственного проекта «Цифровая промышленность», реализуемого Минпромторгом России, с целью обеспечения синергетических эффектов в достижении целевого состояния развития и внедрения цифровых технологий в приоритетных отраслях промышленности.

Таблица 5. Задачи и результаты ведомственного проекта Цифровая промышленность в рамках ДК СЦТ НПТ

№ п/п	Наименование задачи, результата	Характеристика результата
1	2	3
1. Обеспечение преобразования промышленности посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений. 2. Создание комплексной системы финансирования проектов по разработке и (или) внедрению цифровых технологий и платформенных решений, включающей в себя венчурное финансирование и иные институты развития. 3. Обеспечение ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике. 4. Создание в обрабатывающей промышленности высокопроизводительного экспортно-ориентированного сектора, развивающегося на основе современных технологий и обеспеченного высококвалифицированными кадрами.		
1. Создание, интеграция и развитие платформ Государственной информационной системы промышленности (ГИСП)		
1.1	Разработка специализированного модуля ГИСП для отражения «цифровых паспортов» (на основании экспертно-аналитического анализа уровня готовности цифровой трансформации промышленности и определения индекса цифровой трансформации промышленных предприятий) на 30.10.2019 - 1 УСЛ ЕД	Получение промышленными предприятиями «цифровых паспортов», способствующих оперативному контролю за общим уровнем цифровизации, определению наиболее сложных этапов цифровой трансформации и индивидуальному определению наиболее эффективных мер государственной поддержки в отношении каждого предприятия.
1.2	Разработана на базе ГИСП биржа технологий и мощностей предприятий обрабатывающих отраслей промышленности на 31.12.2022 - 1 УСЛ ЕД	1. Созданы инструменты оценки состояния производственных фондов предприятий промышленности и выявления недозагруженных производственных мощностей. 2. Расширение рынка сбыта технологий предприятиями всех форм собственности.
1.3	Создание и интеграция в ГИСП единого реестра российской радиоэлектронной продукции на 31.12.2019 - 1 УСЛ ЕД	Создан и интегрирован в ГИСП единый реестр российской радиоэлектронной продукции.
1.4	Создание и интеграция в ГИСП единого реестра типовых решений и наилучших практик в области цифровой трансформации промышленных предприятий на 31.12.2019 - 1 УСЛ ЕД	Создана библиотека типовых решений и наилучших практик в области цифровой трансформации промышленных предприятий.
1.5	Создание модулей, обеспечивающих бесшовное взаимодействие ГИСП с различными транснациональными платформами на 31.12.2019 - 1 УСЛ ЕД	Созданы, интегрированы и функционируют не менее 3 модулей, обеспечивающих бесшовное взаимодействие ГИСП с различными платформами.

№ п/п	Наименование задачи, результата	Характеристика результата
1	2	3
1.6	Разработка платформы обеспечения производства и продвижения промышленной продукции на внутреннем рынке на 31.12.2022 – 1 УСЛ ЕД	Созданы взаимосвязанные, интегрированные между собой сервисы организации производства и обеспечения сбыта продукции на внутреннем рынке, от размещения сведений о производимой или закупаемой по кооперации продукции до получения платежей по поставкам и работе по арбитражным спорам в рамках рекламационной компании. Предприятия получат доступ к работе с сервисами сети кооперации, субконтрактации и трансфера технологий, а также торгово-логистической платформы.
1.7	Разработка платформы эффективного инвестирования в промышленность на 31.12.2022 – 1 УСЛ ЕД	Созданы взаимосвязанные, интегрированные между собой сервисы поддержки всех этапов инвестирования в создание или развитие промышленного предприятия, от анализа инвестиционных возможностей до вывода продукта на рынок. Сервисы обеспечивают взаимодействие инвестора с участниками на следующих этапах: изучение процесса инвестирования, анализ рынка инвестиций, выбор объекта инвестирования и производственной площадки, контроль расходования средств инвестора в ходе строительства. Предприятия получат возможность автоматического формирования бизнес-плана на создание нового производства, выбора инвестора, проведения переговоров и заключения инвестиционных договоров на платформе, дальнейшего взаимодействия с инвестором по реализации инвестиционного договора.
1.8	Разработка платформы по созданию и развитию производства промышленных предприятий на 31.12.2022 – 1 УСЛ ЕД	Созданы взаимосвязанные, интегрированные между собой сервисы поддержки всех этапов создания нового или развития существующего производства, от бизнес-идеи до сдачи производственного объекта в эксплуатацию. Предприятия получат возможность на основе подготовленного бизнес-плана осуществить его реализацию за счёт электронного взаимодействия с органами государственной власти и контроля, ресурсоснабжающими организациями, строительными организациями, проектными бюро, органами сертификации и испытательными лабораториями, сервисами подбора и аттестации персонала.
1.9	Разработка платформы подбора комплекса мер господдержки, их получение и контроля достижения показателей эффективности проекта на 31.12.2022 – 1 УСЛ ЕД	Созданы взаимосвязанные, интегрированные между собой сервисы подбора, оказания и контроля эффективности комплекса мер государственной поддержки для создания или развития промышленного предприятия. Предприятия получат возможность подбора мер поддержки на всех этапах создания и развития предприятия, подавать заявки и заключать договоры на оказание мер поддержки, сдавать отчётность о достижении показателей эффективности оказания мер поддержки.
1.10	Разработка платформы продвижения продукции на внешнем рынке, увеличения объёмов экспорта на 31.12.2022 – 1 УСЛ ЕД	Созданы взаимосвязанные, интегрированные между собой сервисы поддержки «сквозного» процесса сбыта промышленной продукции на внешнем рынке, от анализа международного рынка до послепродажного обслуживания. Предприятия получат возможность заключения сделок с иностранными партнёрами по поставкам готовой продукции или организации ко нтрактного производства, а также полный спектр сервисов по сопровождению сделки: логистика, сертификация, таможенные процедуры, страхование, арбитражные споры, меры государственной поддержки и т.д.

№ п/п	Наименование задачи, результата	Характеристика результата
1	2	3
1.11	Разработка платформы анализа и прогноза развития производства на базе объективных статистических данных на 31.12.2023 – 1 УСЛ ЕД	Созданы взаимосвязанные, интегрированные между собой сервисы сбора и анализа статистической информации о производстве и потреблении промышленной продукции на внутреннем и внешних рынках, построения прогнозного баланса и стратегий размещения производственных сил на территории РФ. Предприятия получат доступ к актуальной, объективной статистике производства и сбыта промышленной продукции. Кроме этого на основании этих данных предприятия получат доступ к сервисам прогноза спроса на промышленную продукцию и построения межотраслевых и межрегиональных балансов.
2. Цифровая трансформация обрабатывающих отраслей промышленности.		
2.1	Обеспечение оценки уровня цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности. Выявление системных проблем цифровой трансформации промышленности на 31.12.2019 – 0 тыс. предприятий на 31.12.2020 – 3,7 тыс. предприятий на 31.12.2021 – 5,8 тыс. предприятий на 31.12.2022 – 8,0 тыс. предприятий на 31.12.2023 – 11,2 тыс. предприятий- на 31.12.2024 – 14,4 тыс. предприятий	Обеспечено получение промышленными предприятиями «цифровых паспортов», способствующих оперативному контролю за общим уровнем цифровизации, определению наиболее сложных этапов цифровой трансформации и индивидуальному определению наиболее эффективных мер государственной поддержки в отношении каждого предприятия.
2.2	Реализация мер государственной финансовой поддержки, направленные на стимулирование разработки цифровых платформ, программных продуктов, а также масштабирования внедрения существующих на рынке решений в целях цифровой трансформации обрабатывающих отраслей ромышленности на 31.12.2019 – 3 УСЛ ЕД на 31.12.2020 – 3 УСЛ ЕД на 31.12.2021 – 3 УСЛ ЕД на 31.12.2022 – 3 УСЛ ЕД на 31.12.2023 – 3 УСЛ ЕД на 31.12.2024 – 3 УСЛ ЕД	В 2019–2024 годах Фондом развития промышленности в рамках программы «Цифровизация промышленности» выданы займы в целях цифровой трансформации бизнес-процессов промышленных предприятий. В 2019–2024 годах Минпромторгом России реализован механизм государственной поддержки, по разработке цифровых платформ и (или) программных продуктов, увязанных с субтехнологиями «сквозных» цифровых технологий, определяемых дорожными картами по направлениям развития «сквозных» цифровых технологий, предусмотренных федеральным проектом «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

4. Оценка требуемых ресурсов в привязке к инструментам поддержки

Таблица 6. требуемые ресурсы в привязке к инструментам поддержки (млн. руб., до 2024 г.).

	Грантовая поддержка малых предприятий	Поддержка программ деятельности ЛИЦ	Поддержка отраслевых решений	Поддержка разработки и внедрения промышленных решений	Поддержка региональных проектов	Поддержка компаний-лидеров	Поддержка путем субсидирования процентной ставки по кредиту	Итого по субСЦТ в рамках инструментов поддержки	Иные источники	Итого ДК СЦТ НПТ
1. Цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design)	1 080,00	600,00	8 133,33	9 583,33	4 533,33	12 000,00	3 300,00	39 230,00	0,00	39 230,00
- в рамках бюджетных средств	800,00	300,00	4 066,67	4 276,67	2 266,67	6 000,00	300,00	18 010,00	0,00	18 010,00
- в рамках внебюджетного финансирования	280,00	300,00	4 066,67	5 306,67	2 266,67	6 000,00	3 000,00	21 220,00	0,00	21 220,00
2. Технологии «умного» производства (Smart Manufacturing)	1 940,00	200,00	220,00	4 520,00	2 720,00	4 800,00	4 510,00	18 910,00	0,00	18 910,00
- в рамках бюджетных средств	1 360,00	100,00	110,00	1 910,00	1 310,00	2 400,00	410,00	7 600,00	0,00	7 600,00
- в рамках внебюджетного финансирования	580,00	100,00	110,00	2 610,00	1 410,00	2 400,00	4 100,00	11 310,00	0,00	11 310,00
3. Манипуляторы и технологии манипулирования	540,00	400,00	2 000,00	7 000,00	1 563,00	2 000,00	8 250,00	21 753,00	0,00	21 753,00
- в рамках бюджетных средств	400,00	200,00	1 000,00	3 500,00	625,00	1 000,00	750,00	7 475,00	0,00	7 475,00
- в рамках внебюджетного финансирования	140,00	200,00	1 000,00	3 500,00	938,00	1 000,00	7 500,00	14 278,00	0,00	14 278,00
Итого бюджетных средств	2 560,00	600,00	5 176,67	9 686,67	4 201,67	9 400,00	1 460,00	33 085,00	0,00	33 085,00
Итого внебюджетных средств	1 000,00	600,00	5 176,67	11 416,67	4 614,67	9 400,00	14 600,00	46 808,00	0,00	46 808,00
Итого по субтехнологиям ДК СЦТ НПТ (Цифровые технологии)	3 560,00	1 200,00	10 353,33	21 103,33	8 816,33	18 800,00	16 060,00	79 893,00	0,00	79 893,00
Отраслевые проекты и иные мероприятия	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51 200,00	51 200,00
- в рамках бюджетных средств	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28 500,00	28 500,00
- в рамках внебюджетного финансирования	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22 700,00	22 700,00
В рамках ведомственного проекта Цифровая промышленность	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14 250,00	14 250,00
- в рамках бюджетных средств	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7 350,00	7 350,00
- в рамках внебюджетного финансирования	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6 900,00	6 900,00
Итого бюджетных средств	2 560,00	600,00	5 176,67	9 686,67	4 201,67	9 400,00	1 460,00	33 085,00	35 850,00	68 935,00
Итого внебюджетных средств	1 000,00	600,00	5 176,67	11 416,67	4 614,67	9 400,00	14 600,00	46 808,00	29 600,00	76 408,00
Итого ДК СЦТ НПТ	3 560,00	1 200,00	10 353,33	21 103,33	8 816,33	18 800,00	16 060,00	79 893,00	65 450,00	145 343,00

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Официальный сайт Ассоциации «Технет» [Электронный ресурс]. – URL: https://technet-nti.ru/ (дата обращения: 02.03.2020).

2. Дорожная карта по развитию сквозной цифровой технологии «Новые производственные технологии». Результаты и перспективы [Электронный ресурс] / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, К.В. Кукушкин, Е.И. Павлова, А.Ю. Таршин // Инновации. – 2019. – № 11 (253). – С. 89–104. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/12_december/25/dk_sct_npt.pdf (дата обращения: 09.07.2020).

3. Фейгенсон Н.Б., Мацкевич И.С., Липецкая М.С. Бережливое производство и системы менеджмента качества [Электронный ресурс]. – М.; СПб., 2012. – 71 с. – URL: http://csr-nw.ru/files/publications/zk1.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

4. «Умные» среды, «умные» системы, «умные» производства [Электронный ресурс] / М.Э. Аким, И.Б. Андреев, Н.С. Андреева, К.А. Иванова, А.С. Коноваленков, Ю.А. Рябов, С.А. Шмелева. – М.; СПб., 2012. – 62 с. – URL: http://www.csr-nw.ru/files/csr/file_content_1271.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

5. Батоврин В.К., Бахтурин Д.А. Управление жизненным циклом технических систем [Электронный ресурс]. – М.; СПб., 2012. – 59 с. – URL: http://www.csr-nw.ru/files/publications/zk6.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

6. Батоврин В.К. Стандарты системной инженерии [Электронный ресурс]. – М.; СПб., 2012. – 64 с. – URL: http://www.csr-nw.ru/files/csr/file_content_1269.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

7. Княгинин В.Н. Промышленный дизайн Российской Федерации: возможность преодоления «дизайн-барьера» [Электронный ресурс] / под ред. М.С. Липецкой, С.А. Шмелевой. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с. – URL: http://www.csr-nw.ru/files/publications/zk4.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

8. Компьютерный инжиниринг [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова, А.А. Михайлов, А.С. Немов, В.А. Пальмов, Е.Н. Силина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с. – URL: https://fea.ru/spaw2/uploads/files/2012_Книги_СИО_и_КИ/2013_0101_НИУ СПбГПУ_Боровков А_И_ и др__Компьютерный инжиниринг-2012.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

9. Современное инженерное образование [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова, В.А. Пальмов, Е.Н. Силина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с. – URL: https://fea.ru/spaw2/uploads/files/2012_Книги_СИО_и_КИ/2013_0101_НИУ СПбГПУ_Боровков А_И_ и др__Современное инженерное образование-2012.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

10. Княгинин В.Н. Модульная революция: распространение модульного дизайна и эпоха модульных платформ [Электронный ресурс] / под ред. С.А. Шмелевой, М.С. Липецкой. – СПб., 2013. – 80 с. – URL: http://www.csr-nw.ru/files/publications/zk3.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

11. Высокотехнологичный компьютерный инжиниринг: обзор рынков и технологий [Электронный ресурс] / Э.Р. Абдулбариева, Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков, В.И. Жигалов, К.А. Иванова, В.Н. Княгинин, А.А. Кузнецов, И.И. Ласкина, М.С. Липецкая, В.С. Осьмаков,

Ю.Б. Ханьжина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 110 с. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/files/2014_0101_SPbPU_high_tech_computer_aided_engineering_technologies_and_markets_overview.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

12. Княгинин В.Н. Развитие передовых производственных технологий: новая промышленная революция // Менеджмент инноваций. – 2014. – № 3. – С. 220–231.

13. Бионический дизайн / А.И. Боровков, В.М. Марусева, Ю.А. Рябов, Л.А. Щербина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 92 с.

14. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Марусева В.М. Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения [Электронный ресурс] // Цифровое производство: методы, экосистемы, технологии / МШУ СКОЛКОВО. – 2018. – С. 24–44. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/04_april/09/cifrovoe-proizvodstvo0318.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

15. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад (сентябрь 2019 года) / А.И. Боровков, А.А. Гамзикова, К.В. Кукушкин, Ю.А. Рябов. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 62 с.

16. Первый Всероссийский форум «Новые производственные технологии»: Экспертно-аналитический доклад о роли цифровых двойников в высокотехнологичной промышленности [Электронный ресурс]. – URL: http://fea.ru/news/7067 (дата обращения: 02.03.2020).

17. 75-я сессия Генеральной Ассамблеи ООН [Электронный ресурс]. – URL: http://kremlin.ru/events/president/news/64074 (дата обращения: 16.11.2020).

18. Coronavirus: Up to 70% of Germany could become infected - Merkel [Электронный ресурс]. – URL: https://www.bbc.com/news/world-us-canada-51835856 (дата обращения: 16.11.2020).

19. 20 coronavirus quotes showing how open borders and political correctness came before public health [Электронный ресурс]. – URL: https://rmx.news/article/article/20-coronavirus-quotes-showing-how-open-borders-and-political-correctness-came-before-public-health (дата обращения: 16.11.2020).

20. Full text: Xi Jinping's speech at the General Debate of the 75th session of the United Nations General Assembly [Электронный ресурс]. – URL: https://news.cgtn.com/news/2020-09-23/Full-text-Xi-Jinping-s-speech-at-General-Debate-of-UNGA-U07X2dn8Ag/index.html (дата обращения: 16.11.2020).

21. Walcott D.A. How the Fourth Industrial Revolution can help us beat COVID-19 [Электронный ресурс] / World Economic Forum. – URL: https://www.weforum.org/agenda/2020/05/how-the-fourth-industrial-revolution-can-help-us-handle-the-threat-of-covid-19/ (дата обращения: 16.11.2020).

22. Борис Джонсон предложил план предотвращения будущих пандемий [Электронный ресурс]. – URL: https://news.un.org/ru/story/2020/09/1386822 (дата обращения: 16.11.2020).

23. Stankiewicz K. 'Black Swan' author: Global coronavirus response a case study of government incompetence and denial [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cnbc.com/2020/11/02/black-swan-author-nassim-taleb-on-government-covid-incompetence.html (дата обращения: 16.11.2020).

24. Yuval Harari, Elif Shafak, Dambisa Moyo, Eric Schmidt & Others: How COVID will change us [Электронный ресурс]. – URL: https://www.noemamag.com/yuval-harari-elif-shafak-dambisa-moyo-eric-schmidt-how-covid-will-change-us/ (дата обращения: 15.06.2020).

25. No one is likely to win the oil-price war [Электронный ресурс]. – URL: https://www.economist.com/finance-and-economics/2020/03/12/no-one-is-likely-to-win-the-oil-price-war (дата обращения: 17.04.2020).

26. Brent crude oil price exceeded $40 [Электронный ресурс]. – URL: https://portnews.ru/news/296779/ (дата обращения: 03.06.2020).

27. World Economic Outlook, April 2020 -- Chapter 1: The Great Lockdown [Электронный ресурс] / International Monetary Fund. – URL: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/04/14/weo-april-2020 (дата обращения: 15.04.2020).

28. IMF warns of further drop in global growth due to Covid-19 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.theguardian.com/world/2020/may/09/imf-warns-of-further-drop-in-global-growth-due-to-covid-19 (дата обращения: 15.06.2020).

29. Coronavirus: 5 predictions for how the economy might recover [Электронный ресурс] / World Economic Forum. – URL: https://www.weforum.org/agenda/2020/04/alphabet-soup-how-will-post-virus-economic-recovery-shape-up/ (дата обращения: 15.04.2020).

30. Pohlman A. Why Economic Forecasting Is So Difficult in the Pandemic [Электронный ресурс]. – URL: https://hbr.org/2020/05/why-economic-forecasting-is-so-difficult-in-the-pandemic (дата обращения: 03.06.2020).

31. Yong E. How the pandemic will end [Электронный ресурс]. – URL: https://www.theatlantic.com/health/archive/2020/03/how-will-coronavirus-end/608719/ (дата обращения: 20.04.2020).

32. Outbreak readiness and business impact protecting lives and livelihoods across the global economy [Электронный ресурс] / World Economic Forum. – URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF%20HGHI_Outbreak_Readiness_Business_Impact.pdf (дата обращения: 20.04.2020).

33. Lu M. Visualizing the Biggest Risks to the Global Economy in 2020 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.visualcapitalist.com/biggest-risks-global-economy-2020-environment/ (дата обращения: 20.04.2020).

34. China Coronavirus: 82,295 Cases and 3,342 Deaths [Электронный ресурс]. – URL: https://www.worldometers.info/coronavirus/country/china/ (дата обращения: 15.04.2020).

35. United States Coronavirus: 615,895 Cases and 26,185 Deaths [Электронный ресурс]. – URL: https://www.worldometers.info/coronavirus/country/us/ (дата обращения: 15.04.2020).

36. Китайские власти заявили об окончании эпидемии коронавируса в стране [Электронный ресурс]. – URL: https://ria.ru/20200329/1569310147.html?rcmd_alg=collaboration2&rcmd_id=1569307401 (дата обращения: 15.04.2020).

37. Rapoza K. Coronavirus could be the end of China as a global manufacturing hub [Электронный ресурс]. – URL: https://www.forbes.com/sites/kenrapoza/2020/03/01/coronavirus-could-be-the-end-of-china-as-global-manufacturing-hub/ (дата обращения: 15.04.2020).

38. The new coronavirus could have a lasting impact on global supply chains [Электронный ресурс]. – URL: https://www.economist.com/international/2020/02/15/the-new-coronavirus-could-have-a-lasting-impact-on-global-supply-chains (дата обращения: 16.04.2020).

39. Tooze A. The Normal Economy Is Never Coming Back [Электронный ресурс]. – URL: https://foreignpolicy.com/2020/04/09/unemployment-coronavirus-pandemic-normal-economy-is-never-coming-back/ (дата обращения: 15.04.2020).

40. Mason P. Will coronavirus signal the end of capitalism? [Электронный ресурс]. – URL: https://www.aljazeera.com/opinions/2020/4/3/will-coronavirus-signal-the-end-of-capitalism (дата обращения: 15.04.2020).

41. Yuval Noah Harari: the world after coronavirus [Электронный ресурс]. – URL: https://amp.ft.com/content/19d90308-6858-11ea-a3c9-1fe6fedcca75?fbclid=IwAR1vf4ARe1IhUt3zINxRVHa9wsjpTTkEnjB_luvv83sBIRzfZ3Iuc3OoboQ# (дата обращения: 17.04.2020).

42. Coronavirus impact index by industry 2020 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.statista.com/statistics/1106302/coronavirus-impact-index-by-industry-2020/ (дата обращения: 18.06.2020).

43. Kroupenev A. What Will Manufacturing's New Normal Be After COVID-19? [Электронный ресурс]. – URL: https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/21129334/what-will-manufacturings-new-normal-be-after-covid19 (дата обращения: 18.06.2020).

44. Sallomi P. Understanding the sector impact of COVID-19: Technology sector [Электронный ресурс]. – URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/About-Deloitte/COVID-19/COVID-19-Impact-Technology-Sector.pdf (дата обращения: 18.06.2020).

45. Lights and shadows of COVID-19, technology and Industry 4.0 [Электронный ресурс] / N. Melluso, S. Fareri, G. Fantoni, A. Bonaccorsi, F. Chiarello, E. Coli, V. Giordano, P. Manfredi, S. Manafi. – URL: https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2004/2004.13457.pdf (дата обращения: 18.06.2020).

46. Всемирный банк спрогнозировал спад экономики России на 6% в 2020 году [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rbc.ru/economics/08/06/2020/5ede624e9a794729e28b7f9c (дата обращения: 07.07.2020).

47. Экономисты предупредили о двухлетней рецессии в России [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rbc.ru/economics/05/04/2020/5e889d2f9a79478c8de8f34e (дата обращения: 07.07.2020).

48. Эксперты АКРА допустили падение ВВП России до 7,5% в 2020 году [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rbc.ru/economics/21/04/2020/5e9e019f9a7947141cab23c4 (дата обращения: 07.07.2020).

49. Прогнозы снижения ВВП России в 2020 году (19 оценок) [Электронный ресурс]. – URL: https://zen.yandex.ru/media/id/5e48aab040e9c554bad4fa94/prognozy-snijeniia-vvp-rossii-v-2020-godu-19-ocenok-5e980d3c119cce228459fad4 (дата обращения: 08.07.2020).

50. Ивлев А., Архангельская О. Как COVID-19 меняет российский бизнес [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ey.com/ru_ru/covid-19/state-support-measures-ey-survey (дата обращения: 07.07.2020).

51. Coronavirus (COVID-19) in Russia [Электронный ресурс]. – URL: https://www.statista.com/study/72165/coronavirus-covid-19-in-russia/ (дата обращения: 19.06.2020).

52. Бутрин Д. Экономика за здорово живешь [Электронный ресурс] // Коммерсантъ. – 2020. – 3 июня. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/4365453 (дата обращения: 19.06.2020).

53. Доработанный проект общенационального плана восстановления экономики направлен Владимиру Путину [Электронный ресурс]. – URL: http://duma.gov.ru/news/48861/ (дата обращения: 19.06.2020).

54. Общенациональный план действий, обеспечивающих восстановление занятости и доходов населения, рост экономики и долгосрочные структурные изменения в экономике (одобрен на заседании Правительства Российской Федерации 23 сентября 2020 г. (протокол N 36, раздел VII) N П13-60855 от 2 октября 2020 г.) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74678576/ (дата обращения: 04.11.2020).

55. World Economic Outlook Update, June 2020: A Crisis Like No Other, An Uncertain Recovery [Электронный ресурс]. – URL: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/06/24/WEOUpdateJune2020 (дата обращения: 08.11.2020).

56. Rough landing: 2020 will be a terrible year for air transportation [Электронный ресурс]. – URL: https://www.eulerhermes.com/en_global/economic-research/insights/rough-landing-2020-will-be-a-terrible-year-for-air-transportation.html (дата обращения: 07.07.2020).

57. Крупнейший авиаконцерн приготовился к борьбе за выживание [Электронный ресурс]. – URL: https://lenta.ru/news/2020/06/30/air/ (дата обращения: 07.07.2020).

58. Подсчитаны потери глобального бизнеса из-за коронавируса [Электронный ресурс]. – URL: https://lenta.ru/news/2020/06/23/economy/ (дата обращения: 07.07.2020).

59. Стали известны потери туризма из-за пандемии COVID-19 [Электронный ресурс]. – URL: https://iz.ru/1029010/2020-06-29/stali-izvestny-poteri-turizma-iz-za-pandemii-covid (дата обращения: 07.07.2020).

60. Мисливская Г. Минтруд: Количество безработных в России превысило 4,5 млн человек [Электронный ресурс]. – URL: https://rg.ru/2020/06/15/mintrud-kolichestvo-bezrabotnyh-v-rossii-prevysilo-45-mln-chelovek.html (дата обращения: 07.07.2020).

61. Кравченко Е. Какие отрасли российской промышленности пострадали от пандемии коронавируса сильнее всего [Электронный ресурс]. – URL: https://www.forbes.ru/biznes/404085-kakie-otrasli-rossiyskoy-promyshlennosti-postradali-ot-pandemii-koronavirusa-silnee (дата обращения: 07.07.2020).

62. World Economic Outlook, October 2020: A Long and Difficult Ascent [Электронный ресурс]. – URL: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/09/30/world-economic-outlook-october-2020 (дата обращения: 08.11.2020).

63. Impact of Covid-19 crisis on industrial production - Statistics Explained [Электронный ресурс]. – URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Impact_of_Covid-19_crisis_on_industrial_production (дата обращения: 04.11.2020).

64. Manufacturing, value added (% of GDP) [Электронный ресурс]. – URL: https://data.worldbank.org/indicator/nv.ind.manf.zs (дата обращения: 30.03.2020).

65. Global Value Chain Development Report 2019: Technological Innovation, Supply Chain Trade, and Workers in a Globalized World [Электронный ресурс]. – Wash. (D.C.): World Bank Group, 2019. – URL: http://documents1.worldbank.org/curated/en/384161555079173489/pdf/Global-Value-Chain-Development-Report-2019-Technological-Innovation-Supply-Chain-Trade-and-Workers-in-a-Globalized-World.pdf (дата обращения: 14.02.2020).

66. Четвертая промышленная революция. Целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций [Электронный ресурс]. – URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Четвертая_промышленная революция.pdf (дата обращения: 14.02.2020).

67. How to help those countries being left behind by the 4IR [Электронный ресурс]. – URL: https://www.weforum.org/agenda/2020/02/whos-leading-the-4ir-and-how-to-help-the-countries-being-left-behind/ (дата обращения: 13.02.2020).

68. Отчет о промышленном развитии – 2020. Индустриализация в цифровую эпоху [Электронный ресурс]. – URL: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO_IDR2020-Russian_overview.pdf (дата обращения: 10.02.2020).

69. The Opportunity of Better: Autodesk University 2018 (Commentary) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cimdata.com/en/resources/complimentary-reports-research/commentaries/item/11145-the-opportunity-of-better-autodesk-university-2018-commentary (дата обращения: 08.01.2019).

70. Прохоров А., Коник Л. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. – М.: Альянспринт, 2019. – 460 с.

71. Боровков А.И., Рябов Ю.А. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки [Электронный ресурс] // Цифровая трансформация экономики и промышленности: сборник трудов научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 20–22 июня 2019 г.) / под ред. А.В. Бабкина. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – С. 234–245. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/06_june/24/INPROM_Cifrovye_dvoyniki.pdf (дата обращения: 09.07.2020).

72. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / под науч. ред. А.И. Боровкова. – М.: Альянспринт, 2020. – 401 с.

73. Digital twins - rise of the digital twin in Industrial IoT and Industry 4.0 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/digital-twins/ (дата обращения: 08.01.2019).

74. What is digital twin technology? [and why it matters] [Электронный ресурс]. – URL: https://www.networkworld.com/article/3280225/what-is-digital-twin-technology-and-why-it-matters.html (дата обращения: 08.01.2019).

75. Understanding digital twin technology [Электронный ресурс] / A. Mussomeli, B. Meeker, S. Shepley, D. Schatsky. – URL: https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/signals-for-strategists/understanding-digital-twin-technology.html (дата обращения: 08.01.2019).

76. The promise of a digital twin strategy. Best practices for designers and manufacturers of products and industrial equipment [Электронный ресурс]. – URL: https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/Microsoft%27s%20Digital%20Twin%20%27How-To%27%20White-paper.pdf (дата обращения: 08.01.2019).

77. Grieves M. Can the digital twin transform manufacturing [Электронный ресурс]. – URL: https://www.weforum.org/agenda/2015/10/can-the-digital-twin-transform-manufacturing/ (дата обращения: 08.01.2019).

78. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК [Электронный ресурс] / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, В.М. Марусева, В.Ю. Кулемин // Оборонная техника. – 2018. – № 1. – С. 6–33. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/05_may/17/oboronnaya-technika.pdf (дата обращения: 08.01.2019).

79. Global Simulation and Analysis Software Market 2018-2022 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchandmarkets.com/reports/4538667/global-simulation-and-analysis-software-market (дата обращения: 08.01.2019).

80. Barthenheier K. Simulation Process Data Management [Электронный ресурс]. – URL: https://docplayer.net/48297429-Simulation-process-data-management.html (дата обращения: 14.01.2019).

81. Proposal Evaluation for the Manufacturing Technology Centers Program [Электронный ресурс] / National Research Council, Commission on Engineering and Technical Systems. – Wash. (D.C.): National Academy Press, 1988. – URL: https://www.nap.edu/catalog/19121/proposal-evaluation-for-the-manufacturing-technology-centers-program (дата обращения: 05.03.2020).

82. Behdad S. Advanced Manufacturing Defined - The Concept of a Connected and Collaborative Enterprise [Электронный ресурс]. – URL: https://www.coursera.org/lecture/advanced-manufacturing-enterprise/advanced-manufacturing-defined-AKnZW (дата обращения: 05.03.2020).

83. White Papers on Advanced Manufacturing Questions [Электронный ресурс] / Science and Technology Policy Institute. – URL: https://www.nist.gov/system/files/documents/2017/05/09/advanced-manuf-papers.pdf (дата обращения: 05.03.2020).

84. Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing [Электронный ресурс] / Executive Office of the President, President's Council of Advisors on Science and Technology. – URL: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf (дата обращения: 10.03.2020).

85. Strategy for American Leadership in Advanced Manufacturing [Электронный ресурс] / National Science and Technology Council. – URL: https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2018/10/Advanced-Manufacturing-Strategic-Plan-2018.pdf (дата обращения: 10.03.2020).

86. No W.J.Y.A. Cities and growth: knowledge spillovers in the adoption of advanced manufacturing technologies [Электронный ресурс] / Statistics Canada. – URL: https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/pub/11-622-m/11-622-m2008018-eng.pdf?st=8FelpCnN (дата обращения: 06.03.2020).

87. Survey of Advanced Technology, 2014 [Электронный ресурс] / Statistics Canada. – URL: https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p3Instr.pl?Function=assembleInstr&Item_Id=184557 (дата обращения: 06.03.2020).

88. High Level Group on Key Enabling Technologies [Электронный ресурс]: Thematic Report by the Working Team on Advanced Manufacturing Systems, 9 December 2010. – URL: https://ec.europa.eu/docsroom/documents/11283/attachments/7/translations/en/renditions/native (дата обращения: 07.06.2020).

89. Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU [Электронный ресурс]: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2009) 512 final, 30 September 2009. – URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52009DC0512&from=EN (дата обращения: 07.06.2020).

90. High-Level Group on Key Enabling Technologies. Final Report. June 2011 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.eurosfaire.prd.fr/7pc/doc/1309426955_hlg_kets_report_en.pdf (дата обращения: 07.06.2020)..

91. Advancing Manufacturing - Advancing Europe - Report of the Task Force on Advanced Manufacturing for Clean Production [Электронный ресурс]: Commission Staff Working Document, SWD(2014) 120 final, 19 March 2014. – URL: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=5133 (дата обращения: 07.06.2020).

92. The European Task Force for Advanced Manufacturing [Электронный ресурс]. – URL: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/regional-innovation-monitor/link/european-task-force-advanced-manufacturing (дата обращения: 07.06.2020).

93. Smart Industry. Dutch industry fit for the future [Электронный ресурс]. – URL: http://publications.tno.nl/publication/34607549/5S3DAf/SmartIndustry.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

94. Supporting advanced manufacturing activities at the regional level [Электронный ресурс]: Thematic paper // Regional Innovation Monitor Plus. – 31 October 2014. – URL: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/regional-innovation-monitor/sites/default/files/report/RIM%20Plus_Supporting%20ADMA_Thematic_Paper%203_0.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

95. Wintjes R. Un-locking the potential of business and societal innovation; how to scale-up successful new business and production models? [Электронный ресурс]: Trend report // Business Innovation Observatory. – September 2013. – URL: https://ec.europa.eu/docsroom/documents/13384/attachments/1/translations/en/renditions/pdf (дата обращения: 07.06.2020).

96. An analysis of drivers, barriers and readiness factors of EU companies for adopting advanced manufacturing products and technologies [Электронный ресурс] / H. Kroll, G. Copani, E. Van de Velde, M. Simons, D. Horvat, A. Jäger, A. Wastyn, G. PourAbdollahian, M. Naumanen. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016. – URL: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/29e4d66e-dd4a-11e6-ad7c-01aa75ed71a1 (дата обращения: 07.06.2020).

97. An analysis of the drivers, barriers and readiness factors of EU companies for adopting advanced manufacturing products and technologies [Электронный ресурс]. – URL: https://www.isi.fraunhofer.de/en/competence-center/innovations-wissensoekonomie/projekte/eu-man-stu.html (дата обращения: 07.06.2020).

98. Research on Intelligent Manufacturing Development Strategy in China [Электронный ресурс] / The Research Group for Research on Intelligent Manufacturing Development Strategy // Strategic Study of Chinese Academy of Engineering. – 2018. – Vol. 20, issue 4. – P. 1–9. – URL: https://www.engineering.org.cn/en/10.15302/J-SSCAE-2018.04.001 (дата обращения: 19.06.2020).

99. Made in China 2025. The making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries [Электронный ресурс] / J. Wübbeke, M. Meissner, M.J. Zenglein, J. Ives, B. Conrad // MERICS Papers on China. – 2016. – No 2. – URL: https://merics.org/sites/default/files/2020-04/Made%20in%20China%202025.pdf (дата обращения: 19.06.2020).

100. Используемые передовые производственные технологии по субъектам Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/nauka/minnov9.htm (дата обращения: 19.06.2020).

101. Дежина И.Г., Пономарев А.К. Перспективные производственные технологии: новые акценты в развитии промышленности // Форсайт. – 2014. – Т. 8, № 2. – С. 16–29.

102. Публичный аналитический доклад по направлению «Новые производственные технологии» [Электронный ресурс] / И.Г. Дежина, А.К. Пономарев, А.С. Фролов [и др.]; Сколковский институт науки и технологий. – URL: http://www.skoltech.ru/app/data/uploads/2014/02/Doklad-PPT_for-publishing-4.pdf (дата обращения: 08.05.2020).

103. Дежина И.Г., Пономарев А.К., Фролов А.С. Перспективные производственные технологии в России: контуры новой политики // Форсайт. – 2015 – Т. 9, № 1. – С. 20–31.

104. Пономарев А.К., Дежина И.Г. Подходы к формированию приоритетов технологического развития России // Форсайт. – 2016. – Т. 10, № 1. – С. 7–15.

105. Новая технологическая революция: вызовы и возможности для России. Экспертно-аналитический доклад [Электронный ресурс] / Г.И. Идрисов, А.С. Кузьмина, Е.С. Рожкова, Д.В. Санатов, Д.К. Султанов; под науч. рук. В.Н. Княгинина. – М., 2017. – URL: https://strategy.csr.ru/user/pages/researches/novaya-tehnologicheskaya-revolutsiya-2017-10-13.pdf (дата обращения: 08.05.2020).

106. Власова В.В., Тарасенко И.И., Фурсов К.С. Разработка передовых производственных технологий в 2018 году [Электронный ресурс]. – URL: https://issek.hse.ru/news/275458866.html (дата обращения: 08.05.2020).

107. Индикаторы цифровой экономики: 2019 [Электронный ресурс]: статистический сборник / Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневский, Л.М. Гохберг [и др.]; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2019. – 248 с. – URL: https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/298405841.pdf (дата обращения: 08.05.2020).

108. Прогноз научно-технологического развития России: 2030 [Электронный ресурс] / под ред. Л.М. Гохберга. – М.: Министерство образования и науки Российской Федерации: Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», 2014. – 244 с. – URL: https://prognoz2030.hse.ru/data/2014/12/25/1103939133/Prognoz_2030_final.pdf (дата обращения: 19.06.2020).

109. Сотрудники Института передовых производственных технологий (ИППТ) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого представили Аналитический доклад «Передовые производственные технологии» на экспертной сессии по разработке Прогноза научно-технологического развития России на период до 2040 года [Электронный ресурс]. – URL: https://fea.ru/news/6320 (дата обращения: 19.06.2020).

110. О развитии новых производственных технологий: заседание президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России [Электронный ресурс]. – URL: http://government.ru/news/14787/ (дата обращения: 19.06.2020).

111. Передовые производственные технологии (Advanced Manufacturing Technology) станут одним из приоритетных направлений развития науки, техники и технологий в России [Электронный ресурс]. – URL: https://fea.ru/news/5977 (дата обращения: 19.06.2020).

112. Learning to Change: Opportunities to Improve the Performance of Smaller Manufacturers [Электронный ресурс] / National Research Council. – Wash. (D.C.): National Academy Press, 1992. – URL: https://www.nap.edu/catalog/2239/learning-to-change-opportunities-to-improve-the-performance-of-smaller (дата обращения: 10.03.2020).

113. Department of Energy High-End Computing Revitalization Act of 2004 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.nsf.gov/mps/ast/aaac/p_l_108-423_doe_high-end_computing_revitalization_act_of_2004.pdf (дата обращения: 24.03.2016).

114. U.S. Manufacturing—Global Leadership Through Modeling and Simulation [Электронный ресурс]. – URL: http://www.compete.org/storage/images/uploads/File/PDF%20Files/HPC%20Global%20Leadership%20030509.pdf (дата обращения: 24.03.2016).

115. Programs [Электронный ресурс]. – URL: https://www.manufacturing.gov/programs (дата обращения: 10.03.2020).

116. Advanced Manufacturing Technology Consortia (AMTech) Program [Электронный ресурс]. – URL: https://www.nist.gov/oam/programs/advanced-manufacturing-technology-consortia-amtech-program (дата обращения: 10.03.2020).

117. Ma Yungao, Xia Liyu, Meng Weixuan. A Review of Advanced Manufacturing Strategies and Development in Typical Industrialized Countries [Электронный ресурс] // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1237, issue 4. – P. 042007. – URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1237/4/042007/pdf (дата обращения: 24.03.2020).

118. Ruimy D. The Canadian Manufacturing Sector: Urgent Need to Adapt [Электронный ресурс]: Report of the Standing Committee on Industry, Science and Technology / House of Commons Canada. – URL: https://www.ourcommons.ca/Content/Committee/421/INDU/Reports/RP8989078/indurp06/indurp06-e.pdf (дата обращения: 24.03.2020).

119. Wilson M., Holden M., Morden M. Industrie 2030: Manufacturing Growth, Innovation and Prosperity for Canada [Электронный ресурс] / Canadian Manufacturers and Exporters. – URL: http://www.industrie2030.ca/download.php?id=77 (дата обращения: 24.03.2020).

120. Advanced Manufacturing program [Электронный ресурс] / National Research Council Canada. – URL: https://nrc.canada.ca/en/research-development/research-collaboration/programs/advanced-manufacturing-program (дата обращения: 24.03.2020).

121. Canada's Next Generation Manufacturing Supercluster [Электронный ресурс] / Innovation, Science and Economic Development Canada. – URL: http://www.ic.gc.ca/eic/site/093.nsf/eng/00010.html (дата обращения: 24.03.2020).

122. Canada's Digital Technology Supercluster [Электронный ресурс] / Innovation, Science and Economic Development Canada. – URL: http://www.ic.gc.ca/eic/site/093.nsf/eng/00011.html (дата обращения: 24.03.2020).

123. The Learning Factory Digital Twin [Электронный ресурс] / Canada's Digital Technology Supercluster. – URL: https://www.digitalsupercluster.ca/programs/digital-twins/the-learning-factory-digital-twin-2/ (дата обращения: 24.03.2020).

124. Roundtable on Digitising European Industry: Working Group 1 Digital Innovation Hubs [Электронный ресурс] / European Commission. – URL: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/dei_working_group1_report_june2017_0.pdf (дата обращения: 03.05.2021).

125. What is Horizon 2020? [Электронный ресурс] / European Commission. – URL: https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020 (дата обращения: 08.06.2020).

126. Nanotechnologies, Advanced Materials, Advanced Manufacturing and Processing, and Biotechnology [Электронный ресурс] / European Commission. – URL: https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/nanotechnologies-advanced-materials-advanced-manufacturing-and-processing-and (дата обращения: 08.06.2020).

127. Contractual public-private partnerships [Электронный ресурс] / European Commission. – URL: https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/contractual-public-private-partnerships (дата обращения: 08.06.2020).

128. The Factories of the Future [Электронный ресурс] / European Commission. – URL: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/factories-future (дата обращения: 08.06.2020).

129. Factories of the Future [Электронный ресурс]. – URL: https://www.effra.eu/factories-future (дата обращения: 08.06.2020).

130. Factories of the Future PPP: towards competitive EU manufacturing [Электронный ресурс] / EFFRA. – URL: https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/documents/280474/415530/FoF-EFFRA+-+Zeljko+PAZIN.pdf/431c25b9-7fd7-4509-9b38-4142039d4b75 (дата обращения: 03.05.2021).

131. I4MS in a Nutshel [Электронный ресурс]. – URL: https://i4ms.eu/about (дата обращения: 08.06.2020).

132. Enhancing the digital transformation of the European manufacturing sector. The I4MS initiative ICT Innovation for Manufacturing SMEs. June 2016 [Электронный ресурс]. – URL: http://italian-dih.eu/i4ms-in-a-nutshell/?lang=en (дата обращения: 03.05.2021).

133. ICT innovation for EU SMEs. Bringing the 4th industrial revolution closer to European manufacturing SMEs. September 2019 [Электронный ресурс]. – URL: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/i4ms-ict-manufacturing-smes (дата обращения: 03.05.2021).

134. Alignment at Trans-Regional Level: Case Study No.5. The Vanguard Initiative [Электронный ресурс] / Italian Ministry of Education, University and Research. – URL: https://www.era-learn.eu/documents/eralearn2020t4-4casestudies5vanguard.pdf (дата обращения: 08.06.2020).

135. Van Melkebeke D., Tobback K. Vanguard Initiative. New growth by smart specialisation. Engagement for the future of industry in Europe [Электронный ресурс] / Flemish government Department of Economy, Science and Innovation (EWI). – URL: https://era.gv.at/public/documents/2083/Vanguard_Initiave_2014.pdf (дата обращения: 02.05.2021).

136. Strengthening Innovation in Europe's Regions: Strategies for resilient, inclusive and sustainable growth [Электронный ресурс]: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2017) 376 final, 18 July 2017. – URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/2014/com_2017_376_2_en.pdf (дата обращения: 08.06.2020).

137. The ins and outs of the Vanguard Initiative [Электронный ресурс]: A policy brief from the Policy Learning Platform on research and innovation, October 2017 / European Regional Development Fund. – URL: https://www.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/plp_uploads/policy_briefs/2017-10-06-Policy-brief-Vanguard_Final_N.pdf.pdf (дата обращения: 08.06.2020).

138. Pilot Projects [Электронный ресурс] / Vanguard Initiative. – URL: https://www.s3vanguardinitiative.eu/pilots/vi-methodology (дата обращения: 07.06.2020).

139. Belgium: "Made different" [Электронный ресурс] // Digital Transformation Monitor. – May 2017. – URL: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Made%20different_BE%20v1.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

140. Decoster W., Sinero M. Belgium made different - industry 4.0 [Электронный ресурс] / Belgian Foreign Trade Agency. – URL: https://www.abh-ace.be/sites/default/files/Economic_studies/country_study/belgium_made_different_-_industry_4.0.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

141. Supercharging Business Performance through Innovation [Электронный ресурс]. – URL: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/media.www.catapult/wp-content/uploads/2020/01/09160102/2019-Catapult-Network-Brochure-16pp-FINAL.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

142. Case Study Report: The German High-Tech Strategy (Germany) [Электронный ресурс] / European Commission. – URL: https://jiip.eu/mop/wp/wp-content/uploads/2018/09/DE_High-Tech-Strategy_Unger.pdf (дата обращения: 03.05.2021).

143. Italy: Fabbrica Intelligente [Электронный ресурс] // Digital Transformation Monitor. – January 2017. – URL: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Fabbrica%20intelligente%20v1_0.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

144. The Netherlands: Smart Industry [Электронный ресурс] // Digital Transformation Monitor. – January 2017. – URL: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Smart%20Industry%20v1.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

145. Competitiveness clusters (pôles de compétitivité), which bring together innovation stakeholders across France, include a large proportion of young companies [Электронный ресурс] // 4 pages de la DGE. – March 2017. – No. 67. – URL: https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/4p-DGE/2017-03-4pages-67-Competitiveness-clusters.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

146. DIMECC - Digital, Internet, Materials & Engineering Co-Creation [Электронный ресурс]. – URL: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/regional-innovation-monitor/organisation/dimecc-digital-internet-materials-engineering-co-creation (дата обращения: 08.06.2020).

147. Официальный сайт DIMECC. Digital, Internet, Materials & Engineering Co-Creation. – URL: https://www.dimecc.com/ (дата обращения: 08.06.2020).

148. Sweden: Produktion 2030 [Электронный ресурс] // Digital Transformation Monitor. – January 2017. – URL: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Produktion2030%20v1.pdf (дата обращения: 08.06.2020).

149. The Future of Manufacturing – China [Электронный ресурс] / PwC; Global Manufacturing & Industrialisation Summit. – URL: https://gmisummit.com/pdfs/outcomes-book-gmis-2019.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

150. Wübbeke J., Conrad B. 'Industrie 4.0': Will German Technology Help China Catch Up with the West? [Электронный ресурс] // China Monitor. – 14 April 2015. – Issue 23. – URL: https://merics.org/sites/default/files/2020-05/China_Monitor_No_23_en.pdf (дата обращения: 08.06.2020).

151. Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing [Электронный ресурс]: IDA Paper P-4603, March 2012 / S.S. Shipp, N. Gupta, B. Lal, J.A. Scott, C.L. Weber, M.S. Finnin, M. Blake, S. Newsome, S. Thomas; Institute for Defense Analyses. – URL: https://www.nist.gov/system/files/documents/2017/05/09/IDA-STPI-report-on-Global-Emerging-Trends-in-Adv-Mfr-P-4603_Final2-1.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

152. Wilson B., Kobal Williams T. China announces $1.5 trillion development plan for seven strategic emerging industries [Электронный ресурс] / King & Spalding LLP. – URL: https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=9062cb97-612b-40f8-870b-460d9ceaa879 (дата обращения: 07.06.2020).

153. Industrie 4.0 in a Global Context. Strategies for Cooperating with International Partners [Электронный ресурс] / H. Kagermann, R. Anderl, J. Gausemeier, G. Schuh, W. Wahlster (eds.). – Munich: Herbert Utz Verlag, 2016. – 74 p. – (acatech Study). – URL: https://www.researchgate.net/publication/315739153_Industrie_40_in_a_Global_Context_Strategies_for_Cooperating_with_International_Partners_acatech_STUDY (дата обращения: 07.06.2020).

154. China's Smart Cities Development [Электронный ресурс] / K. Atha, J. Callahan, J. Chen, J. Drun, K. Green, B. Lafferty, J. McReynolds, J. Mulvenon, B. Rosen, E. Walz; SOS International LLC; U.S.-China Economic and Security Review Commission. – URL: https://www.uscc.gov/sites/default/files/2020-04/China_Smart_Cities_Development.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

155. Li Yongling, Lin Yanliu, Geertman S. The development of smart cities in China [Электронный ресурс]: Paper for the 14th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM) / Massachusetts Institute of Technology. – URL: https://web.mit.edu/cron/project/CUPUM2015/proceedings/Content/pss/291_li_h.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

156. Pudner S.K., Gregory X. How will China's Belt and Road Initiative Change the World? [Электронный ресурс] / American Bar Association. – URL: https://www.americanbar.org/groups/construction_industry/publications/under_construction/2019/winter2019/china-belt-road-initiative/ (дата обращения: 07.06.2020).

157. Инициатива «Один пояс – один путь» – концепция, предложенная для объединения проектов «Экономического пояса Шелкового пути» и «Морского Шелкового пути XXI века» [Электронный ресурс]. – URL: https://twitter.com/tass_agency/status/1119214877845934081 (дата обращения: 07.06.2020).

158. Qiao H. Smart Factory 1.0 is helping China's industry to upgrade [Электронный ресурс]. – URL: https://www.controleng.com/articles/smart-factory-1-0-is-helping-chinas-industry-to-upgrade/ (дата обращения: 07.06.2020).

159. Kim Chang-do. China is Shifting to the "Smart Factory of the World" [Электронный ресурс] / POSCO Research Institute. – URL: https://www.posri.re.kr/files/file_pdf/59/329/6681/59_329_6681_file_pdf_1476086212.pdf (дата обращения: 07.06.2020).

160. 13th Five-Year Plan for Economic and Social Development of the People's Republic of China (2016–2020) [Электронный ресурс]. – Beijing: Central Compilation and Translation Press. – URL: https://en.ndrc.gov.cn/policyrelease_8233/201612/P020191101482242850325.pdf (дата обращения: 15.06.2020).

161. Koleski K. The 13th Five-Year Plan [Электронный ресурс]: Staff Research Report / U.S.-China Economic and Security Review Commission. – URL: https://www.uscc.gov/sites/default/files/Research/The%2013th%20Five-Year%20Plan_Final_2.14.17_Updated%20(002).pdf (дата обращения: 17.06.2020).

162. Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию. 4 декабря 2014 года [Электронный ресурс]. – URL: http://kremlin.ru/events/president/news/47173 (дата обращения: 25.06.2020).

163. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации [Электронный ресурс]: утв. Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года. – URL: http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201612010007.pdf (дата обращения: 16.11.2020).

164. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]: утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 года № 16). – URL: http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaKw3M5cN-Lo6gczMkPF.pdf (дата обращения: 16.11.2020).

165. О дорожной карте «Технет» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.nti2035.ru/technology/technet (дата обращения: 16.11.2020).

166. О порядке разработки и реализации планов мероприятий (дорожных карт) по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (не вступило в силу) [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 29 сентября 2017 года № 1184. – URL: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71678008/ (дата обращения: 16.11.2020).

167. Матрица НТИ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rvc.ru/nti/matritsa/ (дата обращения: 16.11.2020).

168. Сквозные технологии [Электронный ресурс] / АСИ. – Екатеринбург: Издательские решения, 2017. – Т. 29. – (Серия 04 НТИ: большая ставка). – URL: https://ridero.ru/books/skvoznye_tekhnologii/freeText (дата обращения: 16.11.2020).

169. Центр компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого [Электронный ресурс] / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Ю.А. Рябов, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова // Инновации. – 2019. – № 11 (253). – С. 73–88. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/12_december/25/cnti.pdf (дата обращения: 09.07.2020).

170. Реестр проектов НТИ в целях реализации планов мероприятий («дорожных карт») Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс]. – URL: http://www.nti2035.ru/catalog/ (дата обращения: 16.11.2020).

171. Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере [Электронный ресурс]. – URL: http://fasie.ru/ (дата обращения: 16.11.2020).

172. РВК подвела итоги деятельности в 2019 году [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rvc.ru/press-service/news/company/153125/ (дата обращения: 19.06.2020).

173. Реализация НТИ [Электронный ресурс]. – URL: http://www.nti2035.ru/nti/realization (дата обращения: 19.06.2020).

174. НТИ 2.0. Перезапуск программы технологического развития России [Электронный ресурс]. – URL: https://ntinews.ru/in_progress/likbez/nti-2-0-perezapusk-programmy-tekhnologicheskogo-razvitiya-rossii.html (дата обращения: 16.11.2020).

175. Направление «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс] / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов, И.С. Метревели, Е.А. Аликина // Инновации. – 2019. – № 11 (253). – С. 50–72. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/12_december/25/technet.pdf (дата обращения: 09.07.2020).

176. Нигматуллин И. «Индустрия 4.0» повысит производительность труда в России на треть [Электронный ресурс]. – URL: https://hightech.fm/2017/04/27/industrie-4-0 (дата обращения: 19.06.2020).

177. План мероприятий («дорожная карта») «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс]. – URL: http://www.nti2035.ru/docs/ДК Технет - приложение к протоколу заседания президиума Совета.pdf (дата обращения: 08.11.2019).

178. О реализации Национальной технологической инициативы (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2016 года № 317. – URL: http://base.garant.ru/71380666/ (дата обращения: 16.11.2020).

179. План мероприятий («дорожная карта») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Технет» (передовые производственные технологии): утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 марта 2018 года № 482-р. – URL: http://www.nti2035.ru/documents/docs/NDK_technet.pdf (дата обращения: 16.11.2020).

180. Минпромторг и Росстандарт утвердили Перспективный план стандартизации НТИ в области передовых производственных технологий на 2018–2025 гг. [Электронный ресурс]. – URL: http://technet-nti.ru/news/6861 (дата обращения: 16.11.2020).

181. Ассоциация Технет [Электронный ресурс]. – URL: https://technet-nti.ru/article/association (дата обращения: 19.06.2020).

182. Инфраструктурные центры НТИ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rvc.ru/eco/development_nti/infra_centers/ (дата обращения: 19.06.2020).

183. На базе Ассоциации «Технет» начал работу Инфраструктурный центр «Технет» [Электронный ресурс]. – URL: http://technet-nti.ru/news/6807 (дата обращения: 19.06.2020).

184. Разработана и утверждена Методика определения уровней готовности технологии в рамках проектов ФЦП «Исследования и разработки» [Электронный ресурс]. – URL: https://нтр.рф/events/razrabotana-i-utverzhdena-metodika-opredeleniya-urovney-gotovnosti-tekhnologii/ (дата обращения: 16.11.2020).

185. Акселератор технологических проектов TechNet Project [Электронный ресурс]. – URL: https://technet-nti.ru/article/akselerator-technet-project (дата обращения: 16.11.2020).

186. Технет-Сибирь: в Томске состоялся IV Съезд инженеров СФО [Электронный ресурс]. – URL: http://technet-nti.ru/news/6822 (дата обращения: 19.06.2020).

187. Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) [Электронный ресурс]. – URL: https://nticenter.spbstu.ru/article/ic-centr-kompyuternogo-inzhiniringa-compmechlab (дата обращения: 19.06.2020).

188. История Центра НТИ СПбПУ [Электронный ресурс]. – URL: https://nticenter.spbstu.ru/article/istoriya-centra-nti (дата обращения: 16.11.2020).

189. CompMechLab награждена Национальной промышленной премией Российской Федерации «Индустрия» за 2017 год [Электронный ресурс]. – URL: https://fea.ru/news/6632 (дата обращения: 16.11.2020).

190. Остров 10-22: команда Центра НТИ СПбПУ на Острове Будущего [Электронный ресурс]. – URL: http://nticenter.spbstu.ru/news/6994 (дата обращения: 16.11.2020).

191. ОДК и Центр НТИ СПбПУ подписали дорожную карту «Технет НТИ – ОДК» [Электронный ресурс]. – URL: https://fea.ru/album/1376 (дата обращения: 16.11.2020).

192. Члены рабочей группы «Технет» НТИ утвердили план мероприятий («дорожная карта») «Технет 4.0» (передовые производственные технологии) НТИ [Электронный ресурс]. – URL: https://fea.ru/news/7451 (дата обращения: 16.11.2020).

193. Большие вызовы и приоритеты научно-технологического развития [Электронный ресурс]. – URL: https://нтр.рф/challenges-priorities/ (дата обращения: 19.06.2020).

194. Прогноз реализации приоритета научно-технологического развития, определенного пунктом 20а Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: https://fea.ru/article/prognoz-realizacii-prioriteta-nauchno-tehnologicheskogo-razvitiya-opredelennogo-punktom-20a-strategii-nauchno-tehnologicheskogo-razvitiya-rossijskoj-federacii (дата обращения: 19.06.2020).

195. Паспорт государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» [Электронный ресурс]: утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 29 марта 2019 года № 377. – URL: http://static.government.ru/media/files/AAVpU2sDAvMQklHV20ZJZc3MDqcTxt8x.pdf (дата обращения: 19.06.2020).

196. План реализации Стратегии научно-технологического развития России: мнения экспертов [Электронный ресурс]. – URL: http://www.sib-science.info/ru/ras/utverzhden-plan-realizatsii-15082017 (дата обращения: 19.06.2020).

197. Доклад о реализации Плана деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на период с 2019 по 2024 год за 2019 год [Электронный ресурс]: утв. 27 февраля 2020 года. – URL: http://eduruza.ru/main/files/399/Tekstovaya_forma_Otcheta_po_Planu_Minobrnauki_Rossii_za_2019_god.pdf (дата обращения: 19.06.2020).

198. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 29 марта 2019 года № 377 [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2020 года № 390. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73759942/ (дата обращения: 19.06.2020).

199. 100 дней нового правительства: 20 решений для науки и цифровой экономики [Электронный ресурс]. – URL: https://issek.hse.ru/100days_sti (дата обращения: 19.06.2020).

200. Паспорт национального проекта «Наука» [Электронный ресурс]: утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 года № 16). – URL: http://static.government.ru/media/files/vCAoi8zEXRVSuy2Yk7D8hvQbpbUSwO8y.pdf (дата обращения: 16.11.2020).

201. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого победил в конкурсе и получил статус научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии» [Электронный ресурс]. – URL: https://fea.ru/news/7425 (дата обращения: 16.11.2020).

202. Финансирование национальной программы Цифровая экономика: стоимость и бюджет национального проекта [Электронный ресурс]. – URL: https://digital.ac.gov.ru/poleznaya-informaciya/4110/ (дата обращения: 19.06.2020).

203. Цифровые технологии [Электронный ресурс]. – URL: https://data-economy.ru/science (дата обращения: 19.06.2020).

204. В Ростехе сообщили, что правкомиссия одобрила семь дорожных карт по “сквозным” технологиям [Электронный ресурс]. – URL: https://tass.ru/nacionalnye-proekty/6952862 (дата обращения: 08.05.2021).

205. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» [Электронный ресурс]. – URL: https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019npt.pdf (дата обращения: 21.01.2020).

206. Перспективы развития цифровых сквозных технологий в России и федеральный проект «Цифровые технологии» [Электронный ресурс]. – URL: http://integral-russia.ru/2020/01/20/perspektivy-razvitiya-tsifrovyh-skvoznyh-tehnologij-v-rossii-i-federalnyj-proekt-tsifrovye-tehnologii/ (дата обращения: 19.06.2020).

207. Подписаны соглашения о намерениях между Правительством и крупнейшими компаниями о развитии отдельных высокотехнологичных направлений [Электронный ресурс]. – URL: http://kremlin.ru/events/president/news/60971 (дата обращения: 16.11.2020).

208. Утверждена дорожная карта развития квантовых коммуникаций [Электронный ресурс]. – URL: https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=254824 (дата обращения: 16.11.2020).

209. Господдержку проекта квантового компьютера «Росатома» урезать не будут [Электронный ресурс]. – URL: https://ria.ru/20200630/1573690975.html (дата обращения: 09.07.2020).

210. В России началась практическая реализация дорожной карты «Технологии новых материалов и веществ» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.atomic-energy.ru/SMI/2020/06/11/104470 (дата обращения: 09.07.2020).

211. Крупные компании подключились к внедрению искусственного интеллекта и квантовых коммуникаций [Электронный ресурс]. – URL: https://ntinews.ru/news/tsifrovaya-ekonomika/krupnye-kompanii-podklyuchilis-k-vnedreniyu-iskusstvennogo-intellekta-i-kvantovykh-kommunikatsiy.html (дата обращения: 09.07.2020).

212. Развитие искусственного интеллекта [Электронный ресурс]. – URL: https://www.economy.gov.ru/material/departments/d01/razvitie_iskusstvennogo_intellekta/ (дата обращения: 09.07.2020).

213. Оксана Тарасенко: «Поддержка отечественных разработок, основанных на ИИ – приоритет федерального проекта» [Электронный ресурс]. – URL: https://economy.gov.ru/material/news/oksana_tarasenko_podderzhka_otechestvennyh_razrabotok_osnovannyh_na_ii_prioritet_federalnogo_proekta.html (дата обращения: 16.11.2020).

214. Правительство РФ, Росатом и «Ростех» подписали соглашение о развитии цифровой технологии «Новые производственные технологии» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rosatom.ru/journalist/news/pravitelstvo-rf-rosatom-i-rostekh-podpisali-soglashenie-o-razvitii-tsifrovoy-tekhnologii-novye-proiz/?sphrase_id=1658749 (дата обращения: 16.11.2020).

215. Власова В.В., Кузнецова Т.Е., Рудь В.А. Спрос на инструменты государственной инновационной политики со стороны предприятий высокотехнологичных отраслей [Электронный ресурс]. – URL: https://issek.hse.ru/news/293711880.html (дата обращения: 09.07.2020).

216. The Atlas of Economic Complexity by HarvardGrwthLab [Электронный ресурс]. – URL: http://atlas.cid.harvard.edu/countries/186/strategic-approach (дата обращения: 25.02.2020).

217. Percentage of global R&D spending, by industry 2018 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.statista.com/statistics/270233/percentage-of-global-rundd-spending-by-industry/ (дата обращения: 10.04.2020).

218. Zinnov Zones 2019. ER&D Services. Overview [Электронный ресурс]. – URL: https://zinnov-zones.com/E-R&D-Services (дата обращения: 02.04.2020).

219. Zinnov Zones 2019 for Engineering R&D Services [Электронный ресурс]. – URL: https://zinnov.com/zinnov-zones-engineering-rd-services-2019/ (дата обращения: 02.04.2020).

220. Zinnov Zones 2019. Automotive ER&D Services. Overview [Электронный ресурс]. – URL: https://zinnovzones.com/Automotive-E-R&D-Services (дата обращения: 02.04.2020).

221. Zinnov Zones 2019 Automotive Engineering R&D Services [Электронный ресурс]. – URL: https://zinnov.com/zinnov-zones-automotive-e-rd-services-2019/ (дата обращения: 02.04.2020).

222. Дорожная карта. Информация о плане мероприятий («дорожной карте») в области инжиниринга и промышленного дизайна. Описание [Электронный ресурс]. – URL: http://minpromtorg.gov.ru/activities/cross_tech/docs/map/about/ (дата обращения: 02.04.2020).

223. Разработана обновленная «дорожная карта» в области инжиниринга и промышленного дизайна [Электронный ресурс]. – URL: http://minpromtorg.gov.ru/press-centre/news/#!razrabotana_obnovlennaya_dorozhnaya_karta_v_oblasti_inzhiniringa_i_promyshlennogo_dizayna (дата обращения: 02.04.2020).

224. Наука. Технологии. Инновации: 2020 [Электронный ресурс]: краткий статистический сборник / Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский, Е.И. Евневич [и др.]; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2020. – 88 с. – URL: https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/340117242.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

225. Индикаторы науки: 2019 [Электронный ресурс]: статистический сборник / Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский, Е.Л. Дьяченко [и др.]; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2019. – 328 с. – URL: https://www.hse.ru/data/2019/05/07/1502498137/in2019.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

226. Overview of the Russian and CIS automotive industry. March 2019 [Электронный ресурс] / A. Ivanov, A. Tomyshev, S. Pavlov, P. Leonov; EY. – URL: https://investinrussia.com/data/files/sectors/1_Overview-of-the-Russian-and-CIS.pdf (дата обращения: 30.03.2020).

227. Лобода В. Ведущие мировые автомобильные рынки в 2019 году [Электронный ресурс]. – URL: https://www.autostat.ru/infographics/42919/ (дата обращения: 30.03.2020).

228. LMC Automotive Global Light Vehicle Sales Update (January 2020) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.marklines.com/en/report/global_report_202001 (дата обращения: 31.03.2020).

229. Sales Statistics [Электронный ресурс] / International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. – URL: http://www.oica.net/category/sales-statistics/ (дата обращения: 02.04.2020).

230. Registrations or sales of new vehicles - all types [Электронный ресурс] / International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. – URL: https://www.oica.net/wp-content/uploads/total_sales_2019.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

231. Production Statistics [Электронный ресурс] / International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. – URL: https://www.oica.net/production-statistics/ (дата обращения: 02.04.2020).

232. World motor vehicle production by country and type. Cars [Электронный ресурс] / International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. – URL: https://www.oica.net/wp-content/uploads/Passenger-Cars-2019.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

233. World motor vehicle production by country and type. Light commercial vehicles [Электронный ресурс] / International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. – URL: https://www.oica.net/wp-content/uploads/Light-Commercial-Vehicles-2019.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

234. World motor vehicle production by country and type. Heavy trucks [Электронный ресурс] / International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. – URL: https://www.oica.net/wp-content/uploads/Heavy-trucks-2019.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

235. World motor vehicle production by country and type. Heavy buses [Электронный ресурс] / International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. – URL: https://www.oica.net/wp-content/uploads/Buses-and-Coaches-2019.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

236. Space Propulsion System Market Share, Industry Size 2023 [Электронный ресурс]. – URL: https://bisresearch.com/industry-report/space-propulsion-system-market.html (дата обращения: 02.04.2020).

237. $20+ Billion Space Propulsion Systems Market - Global Outlook to 2027 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/20-billion-space-propulsion-systems-market---global-outlook-to-2027-300926101.html (дата обращения: 02.04.2020).

238. Global space propulsion system market size by segment 2023 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.statista.com/statistics/1016066/global-space-propulsion-system-market-size-by-segment/ (дата обращения: 02.04.2020).

239. Global Aircraft Engines Market to rise at a CAGR of 6.4% by 2022 - TMR [Электронный ресурс]. – URL: https://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/aircraft-engine-market.htm (дата обращения: 02.04.2020).

240. Aircraft Engine Market Size, Share, Analysis & Forecast 2026 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/aircraft-engine-market-101766 (дата обращения: 02.04.2020).

241. Aircraft Engines Market - Industry Analysis and Market Forecast to 2022 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/aircraft-engine-market-14300744.html (дата обращения: 02.04.2020).

242. Aircraft Engines Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021 - 2026) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/aircraft-engines-market (дата обращения: 02.03.2021).

243. Global aircraft engine market share by manufacturer 2019 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.statista.com/statistics/1099835/global-aircraft-engine-manufacturer-market-share/ (дата обращения: 02.04.2020).

244. The Global Space Propulsion System Market is Expected to Reach $10.40 Billion by 2023 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.bloomberg.com/press-releases/2019-02-26/the-global-space-propulsion-system-market-is-expected-to-reach-10-40-billion-by-2023 (дата обращения: 02.04.2020).

245. Marine Engine Market Size, Share - Global Industry Analysis, 2026 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/marine-engine-market-100771 (дата обращения: 02.04.2020).

246. Marine Engines Market by Fuel & Vessel Type - Global Forecast 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/marine-engine-market-261640121.html (дата обращения: 02.04.2020).

247. Marine Engine Market is expected to reach USD 17.5 billion by 2026 at CAGR of 4.2% [Электронный ресурс]. – URL: https://www.profsharemarketresearch.com/marine-engine-market-report/ (дата обращения: 02.04.2020).

248. Marine Propulsion Engine Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecast (2021 - 2026) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/marine-propulsion-engine-market (дата обращения: 02.03.2021).

249. Global Marine Propulsion Market projected to Reach US$ 18 Billion by 2026 - TMR [Электронный ресурс]. – URL: https://www.transparencymarketresearch.com/marine-propulsion-market.html (дата обращения: 02.04.2020).

250. Technology in Maritime - Eight Emerging Trends You Need to Know for 2020 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.seatrademaritimeevents.com/shiptech/en/reports-and-insights/eight-emerging-maritime-technologies.html (дата обращения: 02.04.2020).

251. The Global Aerospace Industry: Size & Country Rankings. 16 July 2018 [Электронный ресурс]. – URL: https://aerodynamicadvisory.com/wp-content/uploads/2018/07/AeroDynamic-Teal_Global-Aerospace-Industry_16July2018.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

252. Aerospace Global Market [Электронный ресурс]. – URL: https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/aerospace-global-market-report (дата обращения: 02.04.2020).

253. Aircraft Manufacturing Market: Size, Trend, Share, Industry Analysis [Электронный ресурс]. – URL: https://www.bccresearch.com/market-research/manufacturing/aircraft-manufacturing-global-markets-report.html (дата обращения: 02.04.2020).

254. Brothers E. 2019 Forecast - Aerospace Manufacturing and Design [Электронный ресурс]. – URL: https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/2019-forecast/ (дата обращения: 02.04.2020).

255. Revenue of the worldwide leading aircraft manufacturers [Электронный ресурс]. – URL: https://www.statista.com/statistics/264366/revenue-of-the-worldwide-leading-aircraft-manufacturers-and-suppliers/ (дата обращения: 02.04.2020).

256. 2019 aerospace & defense study: industry challenges ahead [Электронный ресурс]. – URL: https://www.alixpartners.com/media-center/press-releases/aerospace-defense-challenges-alixpartners-study-2019/ (дата обращения: 02.04.2020).

257. Kenkel J. Five trends that will shape the A&D industry in 2019 – Aerospace Manufacturing Magazine [Электронный ресурс]. – URL: https://www.aero-mag.com/five-trends-that-will-shape-the-ad-industry-in-2019/ (дата обращения: 02.04.2020).

258. Airbus Global Market Forecast 2019-2038 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.airbus.com/aircraft/market/global-market-forecast.html (дата обращения: 02.04.2020).

259. DeNicolo C., Matthews D., Buck W. Industry Top Trends 2019. Aerospace and Defense [Электронный ресурс] / S&P Global Ratings. – URL: https://www.maalot.co.il/Publications/SR20181115142951.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

260. Commercial aerospace insight report. Lead in the new. March 2019 [Электронный ресурс] / Wheless J., Sharma A., Nolting G., Netshivhambe R.; Accenture. – URL: https://www.accenture.com/_acnmedia/accenture/redesign-assets/dotcom/documents/global/1/accenture-commercial-aerospace-insight-report.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

261. Росстат: Производство летательных аппаратов в России упало на 42% [Электронный ресурс]. – URL: http://www.aex.ru/news/2019/4/24/196789/ (дата обращения: 02.04.2020).

262. Юферев С. Крутое пике. Российское авиастроение сокращает объёмы выпуска [Электронный ресурс]. – URL: https://topwar.ru/157031-krutoe-pike-rossijskoe-aviastroenie-sokraschaet-obemy-vypuska.html (дата обращения: 02.04.2020).

263. Ткачев И., Агеева О. Производство самолетов, космических кораблей и ракет рухнуло в 2018 году [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rbc.ru/economics/06/04/2019/5ca72bfa9a7947fcb5c578f2 (дата обращения: 02.04.2020).

264. Обзор: аэрокосмический сектор тянет машиностроение вниз [Электронный ресурс]. – URL: https://riarating.ru/industry_newsletters/20190621/630128450.html (дата обращения: 02.04.2020).

265. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 года [Электронный ресурс] / Минэкономразвития России. – URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/450ce3f2da1ecf8a6ec8f4e9fd0cbdd3/Prognoz2024.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

266. Основные направления деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2024 года [Электронный ресурс]: утв. Председателем Правительства Российской Федерации 29 сентября 2018 года. – URL: http://static.government.ru/media/files/ne0vGNJUk9SQjlGNNsXlX2d2CpCho9qS.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

267. О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013 - 2025 годы» [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2017 года № 379 (не вступило в силу). – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71546300/ (дата обращения: 02.04.2020).

268. Бутов А.М. Рынок продукции гражданского авиастроения 2018 [Электронный ресурс] / Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – URL: https://dcenter.hse.ru/data/2018/11/19/1141804200/Рынок продукции гражданского авиастроения 2018.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

269. Гайва Е. Наступает летная погода. С 2021 года российские авиакомпании получат около 200 самолетов МС-21 [Электронный ресурс]. – URL: https://rg.ru/2019/12/17/v-2021-godu-rossijskie-aviakompanii-poluchat-okolo-200-samoletov-ms-21.html (дата обращения: 02.04.2020).

270. МС-21 [Электронный ресурс]. – URL: https://uacrussia.ru/ru/aircraft/lineup/civil/ms-21/#design-features (дата обращения: 02.04.2020).

271. Чарушников Ю. Ту-154 подготовили смену. Новым драйвером развития российской авиапромышленности должна стать гражданская авиация [Электронный ресурс]. – URL: https://rg.ru/2019/08/26/grazhdanskaia-aviaciia-dolzhna-stat-drajverom-razvitiia-aviapromyshlennosti.html (дата обращения: 02.04.2020).

272. Аксенов П., Волкова О. Киселева М. МАКС-2019: самолет МС-21 совершил первый полет на публике. Из чего он сделан? [Электронный ресурс] – URL: https://www.bbc.com/russian/features-49150213 (дата обращения: 31.03.2020).

273. Teik Chuan Goh. Global machinery production revenue to reach $1.6 trillion in 2022 [Электронный ресурс]. – URL: https://omdia.tech.informa.com/OM003982/Global-machinery-production-revenue-to-reach-16-trillion-in-2022 (дата обращения: 31.03.2020).

274. Mechanical engineering industry expects production to fall in 2019 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.foundry-planet.com/d/mechanical-engineering-industry-expects-production-to-fall-in-2019/#:~:text=%22Therefore%2C%20a%20revision%20of%20our,Welcker%20in%20a%20press%20conference (дата обращения: 03.05.2021).

275. Задача машиностроения России - догнать и перегнать Финляндию [Электронный ресурс]. – URL: https://www.dw.com/ru/задача-машиностроения-россии-догнать-и-перегнать-финляндию/a-48029396 (дата обращения: 03.04.2020).

276. Machinery manufacturing global market [Электронный ресурс]. – URL: https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/machinery-manufacturing-global-market-report (дата обращения: 31.03.2020).

277. Lloyd A. Manufacturing Outlook for 2020: a slow start but picking up steam [Электронный ресурс]. – URL: https://www.interactanalysis.com/manufacturing-outlook-for-2020-a-slow-start-but-picking-up-steam/ (дата обращения: 31.03.2020).

278. Global Machinery Manufacturing Markets, 2014-2018 & 2019-2022 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.businesswire.com/news/home/20191003005520/en/Global-Machinery-Manufacturing-Markets-2014-2018-2019-2022-- (дата обращения: 31.03.2020).

279. Rais A. Global Development of the Mechanical Engineering Industry [Электронный ресурс]. – URL: https://www.spotlightmetal.com/global-development-of-the-mechanical-engineering-industry-a-791162/ (дата обращения: 31.03.2020).

280. Russia's mechanical engineering companies need modern factories. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.globalmarketsinternational.com/latestmarketpost/russia-machinery-mechanical-engineering-companies-projects-2019/ (дата обращения: 03.04.2020).

281. Warship and Naval Vessels Market Share, Trends and Forecast 2019-2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.imarcgroup.com/warship-naval-vessels-market (дата обращения: 23.01.2020).

282. Frigates set to be fastest growing segment in global naval vessels and surface market by 2029 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.globaldata.com/frigates-set-to-be-fastest-growing-segment-in-global-naval-vessels-and-surface-market-by-2029/ (дата обращения: 23.01.2020).

283. Size of the global shipbuilding market in 2018 with a forecast for 2019 to 2025 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.statista.com/statistics/1102252/size-of-the-global-shipbuilding-market/ (дата обращения: 25.01.2020).

284. Review of maritime transport 2019 [Электронный ресурс] / UNCTAD. – New York; Geneva: United Nations Publications, 2019. – URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2019_en.pdf (дата обращения: 26.01.2020).

285. Kent A. Future Tendencies in the Global Shipbuilding Market [Электронный ресурс]: Workshop on Trends and Challenges in Shipbuilding. OECD Council Working Party on Shipbuilding (WP6) / Maritime Strategies International (MSI). – URL: http://www.oecd.org/industry/ind/WP6-Workshop_Item_3.1_Kent.pdf (дата обращения: 26.01.2020).

286. 2018 Hyundai Heavy Industries Group Integrated Report [Электронный ресурс]. – URL: https://english.hhi.co.kr/img/filedown/2018_HHI_en.pdf (дата обращения: 26.01.2020).

287. Hyundai Heavy Industries Company Profile - Office Locations, Competitors, Revenue, Financials, Employees, Key People, Subsidiaries [Электронный ресурс]. – URL: https://craft.co/hyundai-heavy-industries (дата обращения: 26.01.2020).

288. DSME Financial Highlights [Электронный ресурс]. – URL: https://www.dsme.co.kr/epub/investment/investment0303.do (дата обращения: 25.01.2020).

289. China Shipbuilding Industry (CSIC) [Электронный ресурс]. – URL: https://fortune.com/global500/2019/china-shipbuilding-industry (дата обращения: 26.01.2020).

290. China State Shipbuilding (CSSC) [Электронный ресурс]. – URL: https://fortune.com/global500/2018/china-state-shipbuilding/ (дата обращения: 26.01.2020).

291. Shipbuilding. Annual review 2020 [Электронный ресурс] / BRS Group. – URL: https://www.brsbrokers.com/assets/review_splits/BRS_Review_2020_Shipbuilding.pdf (дата обращения: 26.01.2020).

292. Hayashi E. The quiet king of Japanese shipbuilding expands its empire [Электронный ресурс]. – URL: https://asia.nikkei.com/Editor-s-Picks/Japan-Update/The-quiet-king-of-Japanese-shipbuilding-expands-its-empire (дата обращения: 26.01.2020).

293. Yuan Luhang. Merger between CSSC&CSIC [Электронный ресурс]. – URL: https://www.shine.cn/biz/company/1907027735/ (дата обращения: 26.01.2020).

294. Consolidation: a continuing theme in Japan [Электронный ресурс]. – URL: https://www.motorship.com/news101/ships-and-shipyards/consolidation-a-continuing-theme-in-japan (дата обращения: 26.01.2020).

295. Paris C. Merger of Yards in South Korea, China Will Control Global Shipbuilding [Электронный ресурс]. – URL: https://www.wsj.com/articles/merger-of-yards-in-south-korea-china-will-control-global-shipbuilding-11564653601 (дата обращения: 26.01.2020).

296. Стратегия развития судостроительной промышленности до 2035 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 октября 2019 года № 2553-р [Электронный ресурс]. – URL: http://static.government.ru/media/files/WlszzFJXA26YAXaOifb1H-2KQqmi1D7S7.pdf (дата обращения: 26.01.2020).

297. Российский рынок судостроения в цифрах [Электронный ресурс]. – URL: http://sudostroenie.info/novosti/26426.html (дата обращения: 26.01.2020).

298. Mine 2019. Resourcing the future [Электронный ресурс] / PwC. – URL: https://www.pwc.com/mx/es/publicaciones/archivo/2019/06/20190604-pwc-mx-mine-report-2019.pdf (дата обращения: 02.04.2020).

299. Garside M. Mining - Statistics & Facts [Электронный ресурс]. – URL: https://www.statista.com/topics/1143/mining/ (дата обращения: 02.04.2020).

300. Обзор рынка черной металлургии. Второе полугодие 2019 года [Электронный ресурс] / А. Седов, К. Жалилова, Е. Трофимова, А. Синицын, Л. Накорякова, Д. Касаткин, В. Пигалкина; «Делойт» СНГ; Центр стратегических разработок. – URL: https://www2.deloitte.com/ru/ru/pages/research-center/articles/overview-of-steel-and-iron-market.html (дата обращения: 03.04.2020).

301. The Global Chemical Industry: Catalyzing Growth and Addressing Our World's Sustainability Challenges [Электронный ресурс] / Oxford Economics. – URL: https://icca-chem.org/wp-content/uploads/2020/10/Catalyzing-Growth-and-Addressing-Our-Worlds-Sustainability-Challenges-Report.pdf (дата обращения: 17.06.2020).

302. Market share world chemical industry sales by region 2018 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.statista.com/statistics/263136/global-market-share-in-the-chemical-industry-by-region/ (дата обращения: 17.06.2020).

303. CIMdata Publishes Executive PLM Market Report [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cimdata.com/en/news/item/10377-cimdata-publishes-executive-plm-market-report (дата обращения: 21.01.2020).

304. CIMdata Releases PLM Geography Analysis Report [Электронный ресурс]. – URL: https://www.digitalengineering247.com/article/cimdata-releases-plm-geography-analysis-report (дата обращения: 21.01.2020).

305. CIMdata Publishes 2019 PLM Industry Analysis Report [Электронный ресурс]. – URL: http://www.dailycadcam.com/cimdata-publishes-plm-industry-analysis-report-2/ (дата обращения: 21.01.2020).

306. Accenture признали лучшим сервис-провайдером услуг для PLM [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cnews.ru/news/line/2019-07-03_accenture_priznali_luchshim_servisprovajderom (дата обращения: 21.01.2020).

307. Pang A., Markovski M., Markovska A. Top 10 PLM and Engineering Software Vendors, Market Size and Market Forecast 2018-2023 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.appsruntheworld.com/top-10-product-lifecycle-management-engineering-software-vendors-and-market-forecast/ (дата обращения: 21.01.2020).

308. CIMdata Releases Series of Country-Specific PLM Market Analysis Reports [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cimdata.com/en/news/item/12702-cimdata-releases-series-of-country-specific-plm-market-analysis-reports (дата обращения: 21.01.2020).

309. Global $13.21Bn Computer Aided Engineering (CAE) Market Forecast Report, 2019-2026 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.globenewswire.com/news-release/2019/03/28/1781254/0/en/Global-13-21Bn-Computer-Aided-Engineering-CAE-Market-Forecast-Report-2019-2026.html (дата обращения: 21.01.2020).

310. Computer Aided Engineering Market Size Worth $11 Billion by 2026 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.polarismarketresearch.com/press-releases/computer-aided-engineering-market (дата обращения: 21.01.2020).

311. Feldman M. High performance computing racks up the bucks [Электронный ресурс]. – URL: https://www.nextplatform.com/2019/04/09/high-performance-computing-racks-up-the-bucks/ (дата обращения: 21.01.2020).

312. Advanced Materials [Электронный ресурс] / Strategic Intelligence. – URL: https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000001j9vgEAA?tab=publications (дата обращения: 22.01.2020).

313. Global Advanced Materials Market expected to attain valuation of US$102.48 Bn by 2024 – TMR [Электронный ресурс]. – URL: http://www.globenewswire.com/news-release/2018/11/28/1658130/0/en/Global-Advanced-Materials-Market-expected-to-attain-valuation-of-US-102-48-Bn-by-2024-TMR.html (дата обращения: 22.01.2020).

314. Advanced Materials Market Size: Global Industry Demand, Growth, share & Forecast 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchnester.com/reports/advanced-materials-market-global-demand-analysis-opportunity-outlook-2024/448 (дата обращения: 22.01.2020).

315. Advanced Materials Market Size, Share, Trends, Opportunities & Forecast [Электронный ресурс]. – URL: https://www.verifiedmarketresearch.com/product/advanced-materials-market/ (дата обращения: 22.01.2020).

316. Global Advanced Functional Materials Market 2019-2023 [Электронный ресурс]. – URL: https://apnews.com/press-release/pr-businesswire/fb0b76deee7945a6b7bac726a08b4c0a (дата обращения: 22.01.2020).

317. Advanced Carbon Materials Market will grow at a CAGR of 9.1% to hit $12.66 Billion by 2025 - Global Analysis by Trends, Size, Share, Business Opportunities and Key Developments: Adroit Market Research [Электронный ресурс]. – URL: http://www.globenewswire.com/news-release/2019/04/23/1807607/0/en/Advanced-Carbon-Materials-Market-will-grow-at-a-CAGR-of-9-1-to-hit-12-66-Billion-by-2025-Global-Analysis-by-Trends-Size-Share-Business-Opportunities-and-Key-Developments-Adroit-Mar.html (дата обращения: 22.01.2020).

318. Global Advanced Ceramics Market is Expected to Reach USD 141.53 Billion by 2025: Fior Markets [Электронный ресурс]. – URL: http://www.globenewswire.com/news-release/2019/07/25/1887752/0/en/Global-Advanced-Ceramics-Market-is-Expected-to-Reach-USD-141-53-Billion-by-2025-Fior-Markets.html (дата обращения: 22.01.2020).

319. Digital Transformation Initiative. Chemistry and Advanced Materials Industry [Электронный ресурс]: White Paper / World Economic Forum; Accenture. – URL: https://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-chemistry-and-advanced-materials-industry-white-paper.pdf (дата обращения: 03.05.2021).

320. Worldwide Composites Market Trends, Forecast and Competitive Analysis 2019-2024 - ResearchAndMarkets.com [Электронный ресурс]. – URL: https://apnews.com/caa5625880c84829ae32ea86381bfaa9 (дата обращения: 22.01.2020).

321. Composite Material Market. Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021 - 2026) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/composite-material-market (дата обращения: 22.01.2020).

322. Рынок композитов вырастет почти в семь раз [Электронный ресурс]. – URL: https://stimul.online/news/rynok-kompozitov-vyrastet-pochti-v-sem-raz/ (дата обращения: 22.01.2020).

323. Global Smart Materials Sales Market – Industry Reports [Электронный ресурс]. – URL: https://www.360researchreports.com/global-smart-materials-sales-market-16617363 (дата обращения: 22.01.2020).

324. Атлас сквозных цифровых технологий России [Электронный ресурс]. – URL: https://ict.moscow/research/atlas-skvoznyh-cifrovyh-tehnologiy-rossii/ (дата обращения: 22.01.2020).

325. Попадюк С. 5 трендов развития 3D-печати в 2019: медленная революция продолжается [Электронный ресурс]. – URL: https://blog.iqb.ru/3d-printing-trends-2019 (дата обращения: 22.01.2020).

326. Открыт первый в России центр по 3D-печати комплектующих для проверки микросхем [Электронный ресурс]. – URL: http://www.comnews.ru/content/203695/2019-12-20/2019-w51/otkryt-pervyy-rossii-centr-3d-pechati-komplektuyuschikh-dlya-proverki-mikroskhem (дата обращения: 22.01.2020).

327. The additive manufacturing landscape 2019. Essential insights into the additive manufacturing market, key trends and analyses [Электронный ресурс]. – URL: https://amfg.ai/wp-content/uploads/2019/08/The-Additive-Manufacturing-Landscape-2019_Whitepaper.pdf (дата обращения: 22.01.2020).

328. Additive Manufacturing Market To Reach USD 23.33 Billion By 2026 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.reportsanddata.com/press-release/global-additive-manufacturing-market (дата обращения: 08.05.2021).

329. 3D Printing Metals Market worth $2.089.7 million by 2023 - Exclusive Report by MarketsandMarkets [Электронный ресурс]. – URL: http://www.globenewswire.com/news-release/2019/09/30/1922408/0/en/3D-Printing-Metals-Market-worth-2-089-7-million-by-2023-Exclusive-Report-by-MarketsandMarkets.html (дата обращения: 22.01.2020).

330. Аддитивное производство (Additive Manufacturing). [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Аддитивное_производство_(Additive_Manufacturing) (дата обращения: 22.01.2020).

331. Goehrke S. Interview: Terry Wohlers On the State of the 3D Printing Industry in 2019 [Электронный ресурс]. – URL: https://all3dp.com/4/interview-terry-wohlers-state-3d-printing-industry-2019/ (дата обращения: 22.01.2020).

332. Wohlers Talk: Factors Contributing to AM Growth [Электронный ресурс]. – URL: https://wohlersassociates.com/blog/2019/04/factors-contributing-to-am-growth/ (дата обращения: 22.01.2020).

333. Sher D. The global additive manufacturing market 2018 is worth $9.3 billion [Электронный ресурс]. – URL: https://www.3dprintingmedia.network/the-global-additive-manufacturing-market-2018-is-worth-9-3-billion/ (дата обращения: 22.01.2020).

334. Wohlers Talk: U.S. Comeback in AM [Электронный ресурс]. – URL: https://wohlersassociates.com/blog/2019/04/u-s-comeback-in-am/ (дата обращения: 22.01.2020).

335. How 3DP is moving from hype to game changer [Электронный ресурс] / S. Karevska, G. Steinberg, A. Müller, R. Wienken, C. Kilger, D. Kraus; EY. – URL: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/advisory/ey-3d-printing-game-changer.pdf (дата обращения: 22.01.2020).

336. America Makes and ANSI Announce Interactive Portal to Track Standardization Activity to Support Additive Manufacturing [Электронный ресурс]. – URL: https://www.americamakes.us/america-makes-and-ansi-announce-interactive-portal-to-track-standardization-activity-to-support-additive-manufacturing/ (дата обращения: 22.01.2020).

337. AM Around the World: How Mature is 3D Printing in the Asia-Pacific Region? [Электронный ресурс]. – URL: https://amfg.ai/2019/11/20/am-around-the-world-how-mature-is-3d-printing-in-the-asia-pacific-region/ (дата обращения: 22.01.2020).

338. Additive Manufacturing to generate US$100 billion economic value in ASEAN by 2025 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.thyssenkrupp.com/en/newsroom/press-releases/additive-manufacturing-to-generate-us-100-billion-economic-value-in-asean--by-2025-12804.html (дата обращения: 22.01.2020).

339. 3D-принтеры (мировой рынок) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:3D-принтеры_(мировой_рынок) (дата обращения: 22.01.2020).

340. The State of 3D Printing. 2019 Edition [Электронный ресурс] / Sculpteo. – URL: https://www.sculpteo.com/info/the-state-of-3d-printing-report (дата обращения: 22.01.2020).

341. Кашин С. Прогресс с послойным нанесением [Электронный ресурс] // РБК. – 2019. – 8 июля. – URL: https://plus.rbc.ru/news/5d20c1d07a8aa977920d60c1 (дата обращения: 22.01.2020).

342. Игнатьева А. Минпромторг выпустил каталог аддитивного оборудования отечественного производства [Электронный ресурс]. – URL: https://neftegaz.ru/news/stand-arts/475968-minpromtorg-vypustil-katalog-additivnogo-oborudovaniya-otechestvennogo-proizvodstva/ (дата обращения: 22.01.2020).

343. Global industrial sensors market expected to reach USD 24.3 Billion By 2025: Zion Market Research [Электронный ресурс]. – URL: http://www.globenewswire.com/news-release/2019/08/02/1896341/0/en/Global-Industrial-Sensors-Market-Expected-To-Reach-USD-24-3-Billion-By-2025-Zion-Market-Research.html (дата обращения: 22.01.2020).

344. Global Industrial Sensors Market 2018-2022 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.technavio.com/report/global-industrial-sensors-market-analysis-share-2018 (дата обращения: 22.01.2020).

345. Industrial Internet of Things (IIoT) - Market Analysis, Trends, and Forecasts [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchandmarkets.com/reports/4806481/industrial-internet-of-things-iiot-market (дата обращения: 22.01.2020).

346. Industrial Sensors Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021 - 2026) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/industrial-sensors-market (дата обращения: 02.03.2021).

347. Минкомсвязь: рынок робототехники в России в 2024 году вырастет вдвое [Электронный ресурс]. – URL: https://ria.ru/20191014/1559747112.html (дата обращения: 22.01.2020).

348. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Компоненты робототехники и сенсорика» [Электронный ресурс]. – URL: https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019robototehnika-i-sensorika.pdf (дата обращения: 11.11.2019).

349. Промышленный интернет вещей в России. Исследование TAdviser и ГК «Ростех» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IIoT_2018:_Рынок_промышленного_интернета_вещей_в_России (дата обращения: 22.01.2020).

350. Global industrial robots market size was valued at USD 18.8 Billion in 2018 is projected to reach USD 59.9 Billion by 2026, exhibiting a CAGR of 15.7% during the forecast period [Электронный ресурс]. – URL: https://primefeed.in/market-reports/5058626/global-industrial-robots-market-size-was-valued-at-usd-18-8-billion-in-2018-is-projected-to-reach-usd-59-9-billion-by-2026-exhibiting-a-cagr-of-15-7-during-the-forecast-period/ (дата обращения: 21.09.2020).

351. Industrial robotics: Insights into the sector's future growth dynamics. July 2019 [Электронный ресурс] / M. Teulieres, J. Tilley, L. Bolz, P.M. Ludwig-Dehm, S. Wägner; McKinsey. – URL: https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Advanced Electronics/Our Insights/Growth dynamics in industrial robotics/Industrial-robotics-Insights-into-the-sectors-future-growth-dynamics.ashx (дата обращения: 21.01.2020).

352. Industrial robotics Market Size, Share, and Industry Analysis and Market Forecast to 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/Industrial-Robotics-Market-643.html?gclid=Cj0KCQiAvJXxBRCeARIsAMSkApp-uwuvsAGp-k8R61YruU6RI27spMnf0yjQ3jldxk4bHDh8R4GjCmi0aAmdcEALw_wcB (дата обращения: 21.01.2020).

353. Global Industrial Robotics Market by Type, Application, Industry & Geography - Forecast to 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/global-industrial-robotics-market-by-type-application-industry--geography---forecast-to-2024-300934657.html (дата обращения: 21.01.2020).

354. Industrial Robotics Market by Type (Articulated Robots, Collaborative Robots), Application (Handling, Processing, Dispensing), Industry (Automotive, Electrical & Electronics, Metals & Machinery, Food & Beverages) and Geography - Global Forecast to 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchandmarkets.com/reports/4846746/industrial-robotics-market-by-type-articulated (дата обращения: 21.01.2020).

355. Welcome to the IFR Press Conference, 18th September 2019, Shanghai [Электронный ресурс]. – URL: https://ifr.org/downloads/press2018/IFR%20World%20Robotics%20Presentation%20-%2018%20Sept%202019.pdf (дата обращения: 21.01.2020).

356. Аналитический обзор мирового рынка робототехники 2019 [Электронный ресурс] / Ефимов А., Затягов Д., Цыганков В.; Sberbank Robotics Laboratory. – URL: https://adindex.ru/files2/access/2019_07/273895_sberbank_robotics_review_2019_17.07.2019_m.pdf (дата обращения: 21.01.2020).

357. Промышленные роботы [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Промышленные_роботы (дата обращения: 21.01.2020).

358. Цыплёнкова М. Каких роботов производят в России для медицины, промышленности, грузоперевозок и образования [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rusnano.com/about/press-centre/news/20190831-vc-kakikh-robotov-proizvodyat-v-rossii-dlya-meditsiny-promyshlennosti-gruzoperevozok-i-obrazovaniya (дата обращения: 21.01.2020).

359. Industrial Robots Market Size, Share & Growth Report, 2026 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/industrial-robots-market-100360 (дата обращения: 21.01.2020).

360. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework [Электронный ресурс] / H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, T. Watson // Computers in Industry. – 2018. – Vol. 101. – P. 1–12. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361517307285 (дата обращения: 21.01.2020).

361. Proposal of an automation solutions architecture for Industry 4.0 [Электронный ресурс] / M. Saturno, V. Moura Pertel, F. Deschamps [et al.] // 24th International Conference on Production Research (ICPR 2017) Proceedings. – 2017. – URL: https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Deschamps/publication/319944621_Proposal_of_an_automation_solutions_architecture_for_Industry_40/links/59c2dc93aca272295a0df824/Proposal-of-an-automation-solutions-architecture-for-Industry-40.pdf (дата обращения: 21.01.2020).

362. Beyond Proofs of Concept: Scaling the Industrial IoT [Электронный ресурс] / M. Schallehn, C. Schorling, P. Bowen, O. Straehle; Bain & Company. – URL: https://www.bain.com/insights/beyond-proofs-of-concept-scaling-the-industrial-iot/ (дата обращения: 21.01.2020).

363. Industrial IoT (IIoT) Market by Device & Technology (Sensor, RFID, Industrial Robotics, DCS, Condition Monitoring, Networking Technology), Connectivity (Wired, Wireless, Field Technology), Software (PLM, MES, SCADA), Vertical, Region - Global Forecast to 2025 [Электронный ресурс] / MarketsandMarkets Research [Электронный ресурс]. – URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industrial-internet-of-things-market-129733727.html (дата обращения: 21.01.2020).

364. Интернет вещей, IoT, M2M (мировой рынок) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Интернет_вещей,_IoT,_M2M_(мировой_рынок) (дата обращения: 21.01.2020).

365. Industrial Internet of Things Market to be worth US$ 991,562.0 Million by 2026 - TMR [Электронный ресурс]. – URL: https://www.transparencymarketresearch.com/industrial-internet-of-things-iiot-market.html (дата обращения: 21.01.2020).

366. Industrial Internet of Things - IIoT. Промышленный интернет вещей в России [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Industrial_Internet_of_Things_-_IIoT_(промышленный_интернет_вещей)_в_России (дата обращения: 22.01.2020).

367. No Longer Emerging: Industrial IoT and AR are critical business investments for organizations in 2018 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ptc.com/en/news/2018/state-of-reports (дата обращения: 21.01.2020).

368. The rise of industrial IoT [Электронный ресурс]: Special report / ZDNet; TechRepublic; CBS Interactive Inc. – URL: http://book.itep.ru/depository/iot/SF_march2019_iiot.pdf (06.02.2021).

369. Industrial IoT on land and at sea [Электронный ресурс] / Inmarsat Research Programme. – URL: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2018/09/Inmarsat-IoT-on-land-and-at-sea-2018_09.pdf (дата обращения: 21.01.2020).

370. McLellan C. The Industrial Internet of Things: A guide to deployments, vendors and platforms [Электронный ресурс]. – URL: https://www.zdnet.com/article/the-industrial-internet-of-things-a-guide-to-deployments-vendors-and-platforms/ (дата обращения: 21.01.2020).

371. Wilder C. Leaders emerge as the industrial internet of things ecosystem takes shape [Электронный ресурс]. – URL: https://www.forbes.com/sites/moorinsights/2018/04/05/leaders-emerge-as-the-internet-of-things-ecosystem-takes-shape/#44ba9b354db0 (дата обращения: 21.01.2020).

372. Top 10 Industrial IoT Solution Companies - 2018 [Электронный ресурс]. – URL: https://iot.manufacturingtechnologyinsights.com/vendors/top-industrial-iot-solution-companies-2018.html (дата обращения: 21.01.2020).

373. 2018 Winners [Электронный ресурс] / IoT Breakthrough Awards. – URL: https://iotbreakthrough.com/2018-winners/ (дата обращения: 21.01.2020).

374. Top 500 Industrial IoT companies [Электронный ресурс] / IoT ONE. – URL: https://www.iotone.com/iotone500 (дата обращения: 21.01.2020).

375. Albert M. What Is an IIoT Platform? [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mmsonline.com/columns/what-is-an-iiot-platform (дата обращения: 21.01.2020).

376. IIOT Platform Market Research Report, Industry Outlook, Growth Analysis [Электронный ресурс]. – URL: https://www.industryarc.com/Research/Iiot-Platform-Market-Research-500754 (дата обращения: 21.01.2020).

377. IIoT Platform Market Worth $13.82 Billion by 2023 - Exclusive Report by MarketsandMarkets [Электронный ресурс]. – URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/iiot-platform-market-worth-13-82-billion-by-2023-exclusive-report-by-marketsandmarkets--892768174.html (дата обращения: 03.05.2021).

378. Leveraging industrial software stack advancement for digital transformation [Электронный ресурс] / B. Koerber, H. Freund, T. Kasah, L. Bolz; McKinsey. – URL: https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Advanced%20Electronics/Our%20Insights/IIoT%20platforms%20The%20technology%20stack%20as%20value%20driver%20in%20industrial%20equipment%20and%20machinery/FINAL-REPORT-Leveraging-industrial-software-stack-advancement-for-digital-transformation.ashx (дата обращения: 21.01.2020).

379. IIoT Platforms for Manufacturing Report 2019-2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://iot-analytics.com/product/iiot-platforms-manufacturing-market-report-2019-2024/?utm_source=Forbes&utm_medium=newsstory&utm_campaign=IIoTforManuf (дата обращения: 07.04.2020).

380. IIoT platforms for industrial equipment and machinery players [Электронный ресурс] / L. Bolz, H. Freund, T. Kasah, B. Koerber; McKinsey. – URL: https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/iiot-platforms-the-technology-stack-as-value-driver-in-industrial-equipment-and-machinery (дата обращения: 21.01.2020).

381. The Forrester WaveTM: Industrial IoT Software Platforms, Q3 2018 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.forrester.com/report/The+Forrester+Wave+Industrial+IoT+Software+Platforms+Q3+2018/-/E-RES138078# (дата обращения: 21.01.2020).

382. Magic Quadrant for Industrial IoT Platforms [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gartner.com/en/documents/3874883/magic-quadrant-for-industrial-iot-platforms (дата обращения: 21.01.2020).

383. Burton J. 2019 Cloud and IoT Trends in the Industrial Products Market [Электронный ресурс]. – URL: https://www.iotforall.com/2019-cloud-iot-trends-industrial-products-market/ (дата обращения: 21.01.2020).

384. Исследование IDC: Рынок IoT в России в 2018 г. и прогноз до 2022 г. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cnews.ru/news/line/2018-12-21_issledovanie_idc_rynok_iot_v_rossii_v_2018 (дата обращения: 08.05.2021).

385. Рынок интернета вещей (IoT) может превысить 590 млрд руб. в 2022 г. [Электронный ресурс]. – URL: https://marketing.rbc.ru/articles/10435/ (дата обращения: 22.01.2020).

386. Gartner Glossary: Big Data [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data (дата обращения: 22.01.2020).

387. Definition of Big Data - Gartner Information Technology Glossary [Электронный ресурс]. – URL: https://www.businesswire.com/news/home/20190404005662/en/IDC-Forecasts-Revenues-for-Big-Data-and-Business-Analytics-Solutions-Will-Reach-189.1-Billion-This-Year-with-Double-Digit-Annual-Growth-Through-2022 (дата обращения: 22.01.2020).

388. Big Data Market: Global Industry Analysis, Trends, Market Size, and Forecasts up to 2025 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchandmarkets.com/reports/4763598/big-data-market-global-industry-analysis (дата обращения: 22.01.2020).

389. Global big data and business analytics revenue 2015-2022 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.statista.com/statistics/551501/worldwide-big-data-business-analytics-revenue/ (дата обращения: 22.01.2020).

390. Big Data Technology Market Size, Share, Demand & Growth - 2026 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/big-data-technology-market-100144 (дата обращения: 22.01.2020).

391. Big Data Technology Market Size, Share, Demand & Growth - 2027 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/big-data-as-a-service-market-size-worth-51-9-billion-by-2025-grand-view-research-inc-300919412.html (дата обращения: 22.01.2020).

392. На рынке Big Data и бизнес-аналитики ожидается подъем на 12% [Электронный ресурс]. – URL: https://bsc-consulting.ru/blog/analytics/050419/ (дата обращения: 22.01.2020).

393. Global Big Data Market -Trends, Share, Analysis, Size 2019-2027 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.inkwoodresearch.com/reports/big-data-market/ (дата обращения: 22.01.2020).

394. Moore S. Gartner Top 10 Data and Analytics Trends for 2019 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-data-analytics-trends/ (дата обращения: 14.06.2019).

395. Augmented Analytics Market worth $18.4 billion by 2023 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/augmented-analytics.asp (дата обращения: 22.01.2020).

396. Жукова К. У больших данных растут бюджеты [Электронный ресурс] // Коммерсантъ. – 2019. – 15 мая. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/3968186 (дата обращения: 22.01.2020).

397. Ассоциация больших данных представила стратегию развития рынка [Электронный ресурс]. – URL: http://rubda.ru/media_assocation/assocziacziya-bolshih-dannyh-predstavila-strategiyu-razvitiya-rynka/ (дата обращения: 22.01.2020).

398. России предсказали взрывной рост рынка больших данных [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gazeta.ru/tech/news/2019/02/14/n_12640129.shtml (дата обращения: 22.01.2020).

399. Аналитический центр присоединился к Ассоциации больших данных [Электронный ресурс]. – URL: https://rubda.ru/association_news/analiticheskij-czentr-pri-pravitelstve-rf-prisoedinilsya-k-assocziaczii-bolshih-dannyh/ (дата обращения: 22.01.2020).

400. Российские сценарии для Big Data [Электронный ресурс]. – URL: https://rspectr.com/articles/569/rossijskie-scenarii-dlya-big-data (дата обращения: 22.01.2020).

401. Сбербанк: Развитие big data в РФ позволит ускорить рост ВВП к 2024 году [Электронный ресурс]. – URL: http://rubda.ru/media_assocation/sberbank-razvitie-big-data-v-rf-pozvolit-uskorit-rost-vvp-k-2024-godu/ (дата обращения: 22.01.2020).

402. Smart Manufacturing. The Rise of the Machines [Электронный ресурс] / N. Westphal, S. Miremadi, D. Bystrova, B. Mardanov, E. Crowley / GP Bullhound. – URL: https://www.gpbullhound.com/insights/smart-manufacturing/ (дата обращения: 07.06.2020).

403. O'Shea D. Why IoT Platform Alliances Are Becoming an M&A Alternative [Электронный ресурс]. – URL: https://www.iotworldtoday.com/2019/03/21/why-iot-platform-alliances-are-becoming-an-ma-alternative/ (дата обращения: 22.01.2020).

404. Briodagh K. New Rethink Technology Research Report says IoT M&A Activity is Ending [Электронный ресурс]. – URL: https://www.iiotnewshub.com/news/articles/441568-new-rethink-technology-research-report-says-iot-ma.htm (дата обращения: 22.01.2020).

405. Specialty Materials [Электронный ресурс] / William Blair Investment Banking. – URL: https://www.williamblair.com/-/media/downloads/insights/ib-market-assets/2019/specialty-materials-2019.pdf?as=1&la=en&hash=421FFDC837920E728704D31DA12267DB6D67FAA8 (дата обращения: 22.01.2020).

406. Merck Completes Acquisition of Versum Materials [Электронный ресурс]. – URL: https://www.merckgroup.com/en/news/versum-closing-07-10-2019.html (дата обращения: 22.01.2020).

407. Кардаш А., Ткаченко Е., Агеев В. Money treeTM. Навигатор венчурного рынка [Электронный ресурс]. – URL: https://www.pwc.ru/ru/sports/publications/pwc-money-tree-2019.pdf (дата обращения: 22.01.2020).

408. Исследование российского рынка венчурных инвестиций 2019 [Электронный ресурс] / РВК. – URL: https://vc-barometer.ru/venture (дата обращения: 22.01.2020).

409. РВК – Инвестиционная деятельность [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rvc.ru/investments/ (дата обращения: 17.02.2021).

410. Global Startup Ecosystem Report 2019 [Электронный ресурс] / Startup Genome. – URL: https://startupgenome.com/reports/global-startup-ecosystem-report-2019 (дата обращения: 22.01.2020).

411. Атлас новых профессий [Электронный ресурс]. – URL: http://atlas100.ru/ (дата обращения: 08.07.2020).

412. Россия онлайн? Догнать нельзя отстать [Электронный ресурс] / Б. Банке, В. Бутенко, И. Котов, Г. Рубин, Ш. Тушен, Е. Сычева; The Boston Consulting Group. – URL: https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Russia-Online_tcm27-152058.pdf (дата обращения: 08.07.2020).

413. Гохберг Л.М., Соколов А.В., Чулок А.А. Глобальные тренды и перспективы научно-технологического развития Российской Федерации [Электронный ресурс]: докл. к XVIII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 11–14 апр. 2017 г. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2017. – URL: https://issek.hse.ru/data/2017/04/10/1168355206/Global_trends.pdf (дата обращения: 08.07.2020).

414. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 года № 474. – URL: https://rg.ru/2020/07/22/ukaz-dok.html (дата обращения: 16.11.2020)

415. NACE Rev. 2: Statistical classification of economic activities in the European Community [Электронный ресурс]. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008. – URL: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-07-015-EN.PDF (дата обращения: 28.02.2020).

416. Об утверждении паспорта ведомственного проекта Цифровизации городского хозяйства «Умный город» [Электронный ресурс]: приказ Минстроя России от 31 октября 2018 г. № 695/пр. – URL: https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/ecf/Pasport-proekta-umnyy-gorod.pdf (дата обращения: 06.04.2020).

417. Professional services robots and the robotics market [Электронный ресурс]. – URL: https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions/2020/professional-service-robots.html (дата обращения: 06.04.2020).

418. Общие сведения о PCT [Электронный ресурс] / Роспатент. – URL: https://rupto.ru/ru/activities/inter/coop/wipo/pct/article_2 (дата обращения: 06.04.2020).

419. Edge computing and 5G [Электронный ресурс] / Gnanapriya C, S. Masood, R. Hasyagar; Infosys. – URL: https://www.infosys.com/about/knowledge-institute/insights/Documents/edge-computing.pdf (дата обращения: 28.12.2020).

420. Verriet J. From virtual prototype to digital twin. Examples from the Smart Lighting domain. April 9, 2019 [Электронный ресурс] / ESI; TNO. – URL: https://a.storyblok.com/f/74249/x/063ff220fa/s1-verriet-from-virtual-prototype-to-digital-twin.pdf (дата обращения: 28.02.2020).

421. Industrial Sensors Market Rising Demand and Current Trends 2019 to 2028 [Электронный ресурс] / Global Banking & Finance Review. – URL: https://www.globalbankingandfinance.com/category/news/industrial-sensors-market-rising-demand-and-current-trends-2019-to-2028/ (дата обращения: 28.12.2020).

422. Global innovation index 2019: Creating Healthy Lives – The Future of Medical Innovation [Электронный ресурс] / Cornell University; INSEAD; WIPO. – URL: https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4434 (дата обращения: 06.04.2020).

423. Will quantum sensors reduce the burden of dementia by revealing our real-time brain? [Электронный ресурс]. – URL: https://www.birmingham.ac.uk/research/quest/21st-century-healthcare/real-time-brain.aspx (дата обращения: 06.04.2020).

424. Главная премия России для изобретателей присуждена компании Инжиматик за 3D-сенсоры утечек воды и газа [Электронный ресурс]. – URL: https://old.sk.ru/foundation/space/b/scnews/archive/2019/06/28/glavnaya-premiya-rossii-dlya-izobretateley-prisuzhdena-kompanii-inzhimatik-za-3dsensory-utechek-vody-i-gaza.aspx (дата обращения: 06.04.2020).

425. Mobile robotics [Электронный ресурс]. – URL: https://harmonicdrive.de/en/glossary/mobile-robotics (дата обращения: 06.04.2020).

426. ABB demonstrates concept of mobile laboratory robot for hospital of the future [Электронный ресурс]. – URL: https://new.abb.com/news/detail/37301/abb-demonstrates-concept-of-mobile-laboratory-robot-for-hospital-of-the-future (дата обращения: 06.04.2020).

427. Demaitre E. BADGR mobile robot learns to navigate on its own [Электронный ресурс]. – URL: https://www.therobotreport.com/badgr-mobile-robot-learns-own-navigation-berkeley/ (дата обращения: 06.04.2020).

428. The top challenges facing robotics [Электронный ресурс] / Misty Robotics. – URL: https://medium.com/mistyrobotics/the-top-challenges-facing-robotics-2569873a0cc4 (дата обращения: 28.02.2020).

429. Fog computing conceptual model. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology [Электронный ресурс]: NIST Special Publication 500-325 / M. Iorga, L. Feldman, R. Barton, M.J. Martin, N. Goren, C. Mahmoudi; National Institute of Standards and Technology. – URL: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.500-325.pdf (дата обращения: 06.04.2020).

430. Lima J. World's 2 to 5 years away from mass adoption of edge computing technologies [Электронный ресурс]. – URL: https://www.broad-group.com/data/news/documents/b1m2y-5lymghqwq (дата обращения: 06.04.2020).

431. Tomás J.P. 5G driving edge computing momentum in China: GSMA [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rcrwireless.com/20200304/5g/5g-driving-edge-computing-momentum-china-gsma (дата обращения: 06.04.2020).

432. Shuttleworth J. SAE updates J3016 Levels of Automated Driving graphic to reflect evolving standard [Электронный ресурс]. – URL: https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic (дата обращения: 06.04.2020).

433. Baidu tapped to build autonomous driving test facility in Chongqing - The Chinese city has pushed to transform itself into a smart city by aiding the development of 5G, big data and artificial intelligence [Электронный ресурс]. – URL: https://www.scmp.com/tech/big-tech/article/3076088/baidu-build-self-driving-test-facility-chongqing-western-city-pushes (дата обращения: 06.04.2020).

434. Savvas A. Edge computing research and development hub established in UK [Электронный ресурс]. – URL: https://www.broad-group.com/data/news/documents/b1m08w7tbspsgb (дата обращения: 06.04.2020).

435. Reimagining the end-to-end mobile network in the 5G era [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/mobile-internet/reimagining-mobile-network.html (дата обращения: 06.04.2020).

436. Neuromorphic chip market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/neuromorphic-chip-market (дата обращения: 28.02.2020).

437. How the digital revolution is transforming EU-funded brain research [Электронный ресурс] / European Commission. – URL: https://cordis.europa.eu/article/id/401587-cordis-results-pack-on-the-brain (дата обращения: 06.04.2020).

438. Gupta S. Neuromorphic hardware: trying to put brain into chips [Электронный ресурс]. – URL: https://towardsdatascience.com/neuromorphic-hardware-trying-to-put-brain-into-chips-222132f7e4de (дата обращения: 06.04.2020).

439. Нейроморфный процессор для ускорения систем с искусственным интеллектом разработают в России [Электронный ресурс]. – URL: https://ntinews.ru/news/khronika-rynkov-nti/neuronet/neyromorfnyy-protsessor-dlya-uskoreniya-sistem-s-iskusstvennym-intellektom-razrabotayut-v-rossii.html (дата обращения: 06.04.2020).

440. Neuromorphic computing market size. Industry report, 2018-2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/neuromorphic-computing-market (дата обращения: 28.02.2020).

441. Sertoglu K. SUTD and NTU collaboration yields reversible 4D printing [Электронный ресурс]. – URL: https://3dprintingindustry.com/news/sutd-and-ntu-collaboration-yields-reversible-4d-printing-168825/ (дата обращения: 06.04.2020).

442. Molitch-Hou M. Four ways 4D printing is becoming a reality [Электронный ресурс]. – URL: https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/18551/Four-Ways-4D-Printing-Is-Becoming-a-Reality.aspx (дата обращения: 28.02.2020).

443. Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение [Электронный ресурс]: докл. к XX Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 9–12 апр. 2019 г. / Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневский, Л.М. Гохберг [и др.]. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. – URL: https://www.hse.ru/data/2019/04/12/1178004671/2 Цифровая_экономика.pdf (дата обращения: 06.04.2020).

444. Цифровой переход в электроэнергетике России. Экспертно-аналитический доклад [Электронный ресурс] / А.Ю. Абрамов, О.Г. Баркин, И.В. Данилин, Е.С. Рожкова, И.Ю. Ряпин, А.Г. Старченко, И.С. Чаусов, Р.М. Хазиахметов; под общ. ред. В.Н. Княгинина и Д.В. Холкина. – М., 2017. – URL: https://www.csr.ru/ru/publications/tsifrovoj-perehod-v-elektroenergetike-rossii/ (дата обращения: 06.04.2020).

445. Inspection and maintenance innovations for power transmission systems [Электронный ресурс]. – URL: http://www.hydroquebec.com/robotics/transmission-solutions-linescout.html (дата обращения: 06.04.2020).

446. Семь новых проектов получили поддержку НТИ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rvc.ru/press-service/news/company/152416/ (дата обращения: 06.04.2020).

447. Первый проект EnergyNet одобрен к реализации одобрен к реализации [Электронный ресурс]. – URL: http://digitalsubstation.com/blog/2016/12/16/proekt-tsifrovaya-res-yantar-energo-odobren-k-realizatsii/ (дата обращения: 06.04.2020).

448. Мартынова А. Электроэнергетика 4.0: перейти на цифру [Электронный ресурс]. – URL: http://www.nti2035.ru/media/publication/elektroenergetika-4-0-pereyti-na-tsifru (дата обращения: 06.04.2020).

449. How Ford optimises design process with VR [Электронный ресурс]. – URL: https://theleadershipnetwork.com/article/how-ford-optimises-design-process-with-vr (дата обращения: 06.04.2020).

450. Building the Virtual Train with Alstom [Электронный ресурс]. – URL: https://www.capgemini.com/client-story/building-the-virtual-train-with-alstom/# (дата обращения: 06.04.2020).

451. Alstom создаёт цифрового двойника для принятия решений в сфере технического обслуживания парка поездов [Электронный ресурс]. – URL: https://www.anylogic.ru/digital-twin-of-rail-network-for-train-fleet-maintenance-decision-support/ (дата обращения: 06.04.2020).

452. Измайловская И. «СТМ-Сервис»: как цифровизация повышает надёжность локомотивов [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1487969&archive=2019.12.16 (дата обращения: 06.04.2020).

453. Виртуальная реальность помогает в проектировании локомотивов [Электронный ресурс]. – URL: http://general-vr.ru/vr-concept-для-локомотивов/ (дата обращения: 06.04.2020).

454. BTP: SUEZ lance batiRIM®, la première solution digitale permettant une déconstruction sélective des bâtiments [Электронный ресурс]. – URL: https://www.suez.com/fr/actualites/communiques-de-presse/suez-lance-batirim-la-premiere-solution-digitale-permettant-une-deconstruction-selective-des-batiments (дата обращения: 06.04.2020).

455. La déconstruction sélective assistée numériquement [Электронный ресурс] // Green News Techno. – 27 mars 2019. – No 287. – URL: https://resolving.com/Fr/img/presse/190327-batirim-green-news-techno.pdf (дата обращения: 06.04.2020).

456. 5 great ways airlines are using the internet of things [Электронный ресурс]. – URL: https://w3.accelya.com/blog/5-great-ways-airlines-are-using-the-internet-of-things (дата обращения: 07.04.2020).

457. Volkswagen optimizes traffic flow with quantum computers [Электронный ресурс]. – URL: https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/volkswagen-optimizes-traffic-flow-with-quantum-computers-5507 (дата обращения: 07.04.2020).

458. Simetra помогает Ростову-на-Дону развивать интеллектуальную транспортную систему [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cnews.ru/news/line/2020-03-17_simetra_pomogaet_rostovunadonu (дата обращения: 07.04.2020).

459. Искусственный интеллект помогает российским регионам строить города с умным транспортом [Электронный ресурс]. – URL: https://smartcity.cnews.ru/news/line/2019-12-01_intellektualnaya_organizatsiya (дата обращения: 07.04.2020).

460. Panetta K. Gartner Top 10 strategic technology trends for 2018 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018/ (дата обращения: 08.01.2019).

461. Panetta K. Gartner Top 10 strategic technology Trends for 2019 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/ (дата обращения: 08.01.2019).

462. Forecasting the development of Big Data technologies in the Russian Federation on the basis of expert assessments // Proceedings of the of the 31st International Business Information Management Association Conference (IBIMA) «Innovation Management and Education Excellence through Vision», 25–26 April 2018, Milan, Italy / A.I. Klimin, N.V. Pavlov, A.M. Efimov, Z.L. Simakova. – Milan: International Business Information Management Association, 2018. – P. 1669–1679.

463. Konnikov E., Konnikova O., Leventsov V. IT Services market as a driver for the development of the artificial intelligence market [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 497. – P. 01243. – URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/497/1/012043/pdf (дата обращения: 08.01.2019)

464. Modern approaches for study of eutectoid steel oxidation and decarburization [Электронный ресурс] / K. Pivovarova, M. Polyakova, M. Dabala, A. Korchunov, A. Shymchenko // Materials Physics and Mechanics. – 2018. – Vol. 40, issue 2. – P. 212–220. – URL: https://mpm.spbstu.ru/userfiles/files/MPM240_09_pivovarova.pdf (дата обращения: 08.01.2019).

465. Theoretical and experimental study of plastic anisotropy of Al-1Mn alloy taking into account the crystallographic orientation of the structure [Электронный ресурс] / F.V. Grechnikov, Ya.A. Erisov, S.V. Surudin, V.V. Tereshchenko // Materials Physics and Mechanics. – 2018. – Vol. 40, issue 2. – P. 274–284. – URL: http://www.ipme.ru/e-journals/MPM/no_24018/MPM240_16_grechnikov.pdf (дата обращения: 08.01.2019).

466. Фролов Е. MES – базис для создания «цифрового двойника» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.e-xecutive.ru/management/practices/1989564-mes-bazis-dlya-sozdaniya-tsifrovogo-dvoinika (дата обращения: 08.01.2019).

467. Механик А. Аддитивные технологии – это уже не фантазии [Электронный ресурс] // Эксперт. – 2018. – № 35 (1086). – URL: http://expert.ru/expert/2018/35/additivnyie-tehnologii---eto-uzhe-ne-fantazii/ (дата обращения: 08.01.2019).

468. Дегтярева Д. Президиум РАН: о перспективах интеллектуализации авиационных комплексов [Электронный ресурс]. – URL: https://scientificrussia.ru/articles/prezidium-ran-intellektualizatsiya-sovremennyh-kompleksov-oborudovaniya-letatelnyh-apparatov (дата обращения: 08.01.2019).

469. Князева А. Цифровой колхоз [Электронный ресурс]. – URL: https://iz.ru/723900/anastasiia-kniazeva/tcifrovoi-kolkhoz (дата обращения: 08.01.2019).

470. Разработка и реализация облачной системы для решения высокопроизводительных задач [Электронный ресурс] / А.О. Кудрявцев, В.К. Кошелев, А.О. Избышев [и др.] // Труды Института системного программирования РАН. – 2013. – Т. 24. – С. 13–33. – URL: https://ispranproceedings.elpub.ru/jour/article/view/948/673 (дата обращения: 08.01.2019).

471. Чумаков В. Информатика для нас не проблема. «В мире науки» №11, 2017 [Электронный ресурс]. – URL: https://scientificrussia.ru/articles/informatika-dlya-nas-ne-problema-v-mire-nauki-11-2017 (дата обращения: 08.01.2019).

472. AnyLogic моделирует развитие России на суперкомпьютере «Ломоносов» – инструмент имитационного моделирования AnyLogic [Электронный ресурс]. – URL: https://www.anylogic.ru/anylogic-simulates-future-development-of-russia/ (дата обращения: 08.01.2019).

473. Механик А. Сделано в Сарове [Электронный ресурс]. – URL: https://stimul.online/articles/interview/sdelano-v-sarove/ (дата обращения: 08.01.2019).

474. Глазков Б. Индустриальный интернет не удовлетворить коробочным решением [Электронный ресурс]. – URL: http://www.iksmedia.ru/articles/5291518-Industrialnyj-internet-ne-udovletvo.html#ixzz5bblEkHJp (дата обращения: 08.01.2019).

475. Цифровизация и внедрение IoT помогут российскому машиностроению повысить конкурентоспособность [Электронный ресурс]. – URL: http://www.iksmedia.ru/news/5523712-Czifrovizaciya-i-vnedrenie-IoT-pomo.html (дата обращения: 08.01.2019).

476. Инновации в России – неисчерпаемый источник роста [Электронный ресурс] / С. Алябьев, Д. Голощапов, В. Клинцов [и др.]; Центр по развитию инноваций McKinsey Innovation Practice. – URL: https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Innovations%20in%20Russia/Innovations-in-Russia_web_lq-1.ashx (дата обращения: 10.01.2019).

477. Photonics Market Global Forecast to 2025 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/photonics-market-88194993.html (дата обращения: 10.03.2021).

478. EuroPho21. Annual Review: Photonics21 Strategy Implementation 2016 [Электронный ресурс]. – URL: https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b1efae61&appId=PPGMS (дата обращения: 10.03.2021).

479. Дежина И., Фролов А. В поисках прорывных технологий: фотоника [Электронный ресурс] // Мировая экономика и международные отношения. – 2017. – Т. 61, № 6. – С. 14–22. – URL: https://www.skoltech.ru/app/data/uploads/2014/02/Fotonika_MEiMO.pdf (дата обращения: 10.01.2019).

480. План мероприятий («дорожная карта») «Развитие лазерных, оптических и оптоэлектронных технологий (фотоники)»: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 июня 2016 года № 1299-р. – URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?doc_itself=&backlink=1&nd=102167122&page=1&rdk=1#I0 (дата обращения: 03.05.2021).

481. Развитие фотоники в России и мире [Электронный ресурс]: публичный аналитический доклад / рук. авт. колл. И.Г. Дежина. – М.: Битуби, 2016. – 432 с. – URL: http://docplayer.ru/52658988-Razvitie-fotoniki-v-rossii-i-mire-publichnyy-analiticheskiy-doklad.html (дата обращения: 10.01.2019).

482. Приложение 5 к протоколу заседания научно-координационного совета федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» от 20 февраля 2017 г. № ПНКС-14 [Электронный ресурс]. – URL: http://fcpir.ru/upload/medialibrary/4d5/prilozhenie-5.pdf (дата обращения: 10.01.2019).

483. Заседание Совета по приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития России [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=ec653a0b-6112-4321-87d2-8d215897cd6f (дата обращения: 10.01.2019).

484. Хан Д. Мир на квантах: чего не хватает в России для развития инфраструктуры нового рынка [Электронный ресурс]. – URL: http://www.forbes.ru/tehnologii/340589-mir-na-kvantah-pochemu-rossii-ne-hvataet-kompleksnogo-razvitiya-infrastruktury (дата обращения: 10.01.2019).

485. Аддитивное производство (Additive Manufacturing) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Аддитивное_производство_(Additive_Manufacturing)#2018:_Frost_.26_Sullivan_. (дата обращения: 10.01.2019).

486. Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета на оказание государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций и Положения о проведении конкурсного отбора на предоставление грантов на государственную поддержку центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 16 октября 2017 года № 1251. – URL: http://static.government.ru/media/files/V2pqqEl6LX8f1KM3GdusIGVAvzuyAUoy.pdf (дата обращения: 10.01.2019).

487. High Performance Computing (HPC) Market Worth 44.98 Billion USD by 2022 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.prnewswire.com/in/news-releases/high-performance-computing-hpc-market-worth-4498-billion-usd-by-2022-673806833.html (дата обращения: 03.05.2021).

488. России нужна нацпрограмма по разработке суперкомпьютеров, считают эксперты [Электронный ресурс]. – URL: https://ria.ru/20180113/1512539375.html (дата обращения: 10.01.2019).

489. Fridrih T. 10 самых быстрых суперкомпьютеров мира 2018 [Электронный ресурс]. – URL: https://habr.com/company/ua-hosting/blog/419753/ (дата обращения: 10.01.2019).

490. Суперкомпьютер «Ломоносов-2» на пути к рубежу 5 Пфлопс [Электронный ресурс]. – URL: https://www.msu.ru/news/na-puti-k-rubezhu-5pflops.html (дата обращения: 10.01.2019).

491. Top 10 Advanced Materials and; Technologies Market by Product and by Geography - 2021 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/top-10-advanced-material-technologies-market-205930560.html (дата обращения: 26.12.2017).

492. Владимир Путин утвердил новую доктрину информационной безопасности [Электронный ресурс]. – URL: https://raec.ru/live/raec-news/8731/ (дата обращения: 10.01.2019).

493. В рамках программы Союзного государства «СКИФ-НЕДРА» создан опытный образец персонального суперкомпьютера [Электронный ресурс]. – URL: https://postkomsg.com/science/219703/ (дата обращения: 10.01.2019).

494. Сайт ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.fcpir.ru/ (дата обращения: 10.01.2019).

495. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Информационное общество» (с изменениями на 16 декабря 2020 года) (редакция, действующая с 26 декабря 2020 года) [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 года № 313. – URL: http://docs.cntd.ru/document/499091768 (дата обращения: 10.01.2019).

496. Развитие суперкомпьютерных технологий – основной компонент развития информационных технологий [Электронный ресурс]: аналитический обзор / ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. – URL: https://www.extech.ru/files/anr_2015/anr_2.pdf (дата обращения: 10.01.2019).

497. Эксафлопные технологии. Концепция по развитию технологии высокопроизводительных вычислений на базе суперэвм эксафлопного класса (2012-2020 гг.). [Электронный ресурс]. – URL: https://rosatom.ru/upload/iblock/c4e/c4e2a133ad639c499cafc5f6f618d851.pdf (дата обращения: 03.05.2021).

498. Технологии Центра компетенций НТИ «Сенсорика» в 40 раз увеличат скорость передачи данных [Электронный ресурс]. – URL: https://tass.ru/nauka/5912530 (дата обращения: 10.01.2019).

499. Песков Д. Н. Национальная технологическая инициатива: цели, основные принципы и достигнутые результаты: доклад на заседании Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России (Москва, 9 июня 2015 года) [Электронный ресурс]. – URL: http://static.government.ru/media/files/T9Crayp8PsBQU6hdVAl0SsDlu2XvCvYG.pdf (дата обращения: 09.07.2020).

500. Стратегия Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс]. – URL: https://present5.com/strategiya-nacionalnoj-texnologicheskoj-iniciativy-2016-nacionalnaya-texnologicheskaya/ (дата обращения: 09.07.2020).

501. Матрица Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс]. – URL: https://nti2035.ru/codes/docs/canon.pdf (дата обращения: 09.07.2020).

Боровков Алексей Иванович
Кукушкин Кузьма Викторович
Корчевская Анастасия Андреевна
Хуторцова Анастасия Тимофеевна
Щербина Людмила Александровна
Рябов Юрий Александрович
Салкуцан Сергей Владимирович
Касяненко Елена Олеговна
Метревели Илья Сергеевич
Вишневский Константин Олегович
Туровец Юлия Валерьевна
Липецкая Марина Сергеевна
Санатов Дмитрий Васильевич
Андреева Наталия Сергеевна
Римских Евгений Андреевич
Пастухов Владимир Александрович
Гоголь Наталья Викторовна
Королькова Маргарита Анатольевна

ПЕРЕДОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РОССИИ

ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД

Монография

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать 16.12.2020. Формат 60×84/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 54,5. Тираж 300. Заказ 3037.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.