

СЕРИИ  
"ИСТОЧНИКИ НОВЫХ  
ПРОИЗВОДСТВ"

ВЫПУСК 3

# ИСКУССТВЕНН ЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРОМЫШЛЕНН ОСТИ

2022

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

## ИСТОЧНИКИ НОВЫХ ОТРАСЛЕЙ. ВОПРОС 3. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Экспертное заключение

**Авторы:** И.Е. Васеев, Е.А. Годунова, Д.В. Санатов, М.А. Семенова, М.А. Харитонов

**Редакторы:** В.Н. Княгинин, М.С. Липецкая, Е.М. Холоднова

**Научные редакторы:** А. В. Бухановский, д-р техн. наук, профессор, научный руководитель исследовательского центра "Сильный ИИ в промышленности" Университета ИТМО; Л. В. Уткин, д-р техн. наук, профессор, директор Института компьютерных наук и технологий СПбПУ

**Интервьюируемые:** М.В. Болсуновская, К.В. Воронцов, А.Н. Горбань, В.В. Климов, К. В. Кринкин, А. В. Самсонович, П. О. Скобелев, А. Л. Тулупьев, А. А. Фильченков, А. А. Шпильман, С. А. Шумский

Доклад подготовлен Центром стратегических разработок "Северо-Запад" совместно с Фондом поддержки инноваций и молодежных инициатив Санкт-Петербурга и Ассоциацией "Искусственный интеллект в промышленности" при поддержке Правительства Санкт-Петербурга.

За основу был взят форсайт-проект "Грани новых наук". Целью проекта было выявление долгосрочных тенденций и перспектив развития новых промышленных и технологических рынков, определение на этой основе наиболее перспективных направлений исследований и разработок в так называемых "пограничных" областях НИОКР - передовой химии, синтетической биологии, искусственного интеллекта и экологически чистых промышленных технологий.

Методологическая основа проекта базируется на анализе результатов форсайт-сессии с участием ведущих и молодых ученых, обработке научных данных, серии интервью с ведущими исследователями, оценке стратегий крупных промышленных концернов.

Отчет состоит из четырех разделов, в которые входят:

- риски развития индустрии искусственного интеллекта в современных условиях;
- влияние технологий искусственного интеллекта на современную технологическую парадигму и способы производства;
- необходимые меры для запуска программ по реинжинирингу аппаратного и программного обеспечения ИИ;
- Роль Санкт-Петербурга как центра экспертизы в области искусственного интеллекта.

В отчете описаны основные факторы развития передовых технологий искусственного интеллекта:

- 1) Одним из важнейших факторов роста рынка искусственного интеллекта является производство;
- 2) Основные пограничные задачи для науки об ИИ лежат в области вычислений и работы с данными;
- 3) Развитие технологий искусственного интеллекта в России зависит от наличия собственного оборудования и программного обеспечения.

Результаты проекта легли в основу деятельности Ассоциации "Искусственный интеллект в промышленности".

Серия "Источники новых индустрий"

Дизайн: М. И. Петрова по заказу Фонда поддержки инноваций и молодежных инициатив Санкт-Петербурга



Авторы отчета выражают особую б л а г о д а р н о с т ь

Министерству науки и высшего образования Российской Федерации за  
поддержку форсайт-проекта "Грани новых наук".

# Оглавление

5	Список рисунков
6	Введение
8	1. От шока к новой открытости
9	1.1. Новые риски рынка искусственного интеллекта
12	1.2. Возможна ли новая "зима ИИ"?
15	1.3. Промышленность - важнейший фактор роста рынка
18	2. Долгосрочные перспективы ИИ
19	2.1. Будущее вычислений с искусственным интеллектом
23	2.2. Проблемы разработки аппаратных средств ИИ
25	2.3. Как ИИ изменит промышленность
30	3. России нужен реинжиниринг. Реинжиниринг нуждается в искусственном интеллекте
35	4. Лидерские амбиции Санкт-Петербурга на рынке искусственного интеллекта
40	Заключение
41	Библиография

# Список рисунков

Рис. 1. Соотношение количества публикаций по теме "Искусственный интеллект" в рамках отрасли знаний "Компьютерные науки" с общим количеством публикаций в рамках компьютерных наук. Scopus, 1970-2021 гг.

Рис. 2. Объем импорта полупроводников в Россию, на который повлияют экономические ограничения

Рис. 3. Количество отечественных и международных публикаций по ИИ в Китае, Scopus

Рис. 4. Количество параметров современных моделей ИИ, млрд параметров

Рис. 5. Объем рынков ИИ по секторам экономики, 2021-2027 годы, млрд долларов

Рис. 6. Типичные области применения ИИ в нефтегазовой промышленности

Рис. 7. Типичные области применения ИИ в металлургической промышленности

Рис. 8. Количество публикаций по тематике *frontiers in computing technology*, шт.

Рис. 9. Количество публикаций по темам границ в работе с данными, шт.

Рис. 10. Влияние ИИ на различные отрасли промышленности

Рис. 11. Архитектура индивидуального производства на основе ИИ

Рис. 12. Актуальность технологий ИИ для различных отраслей промышленности

Рис. 13. Российские университеты: Средневзвешенные цитирования в области ИИ в 2016-2021 гг.

Рис. 14. Топ-10 университетов России по уровню искусственного интеллекта в математических науках в 2015-2022 гг.

Рис. 15. Рейтинг университетов среди научных организаций России по разделу "Математические науки", 2021 г.

Рис. 16. Рейтинг университетов (топ-10) среди научных организаций России по разделу "Компьютерные науки", 2021 г.

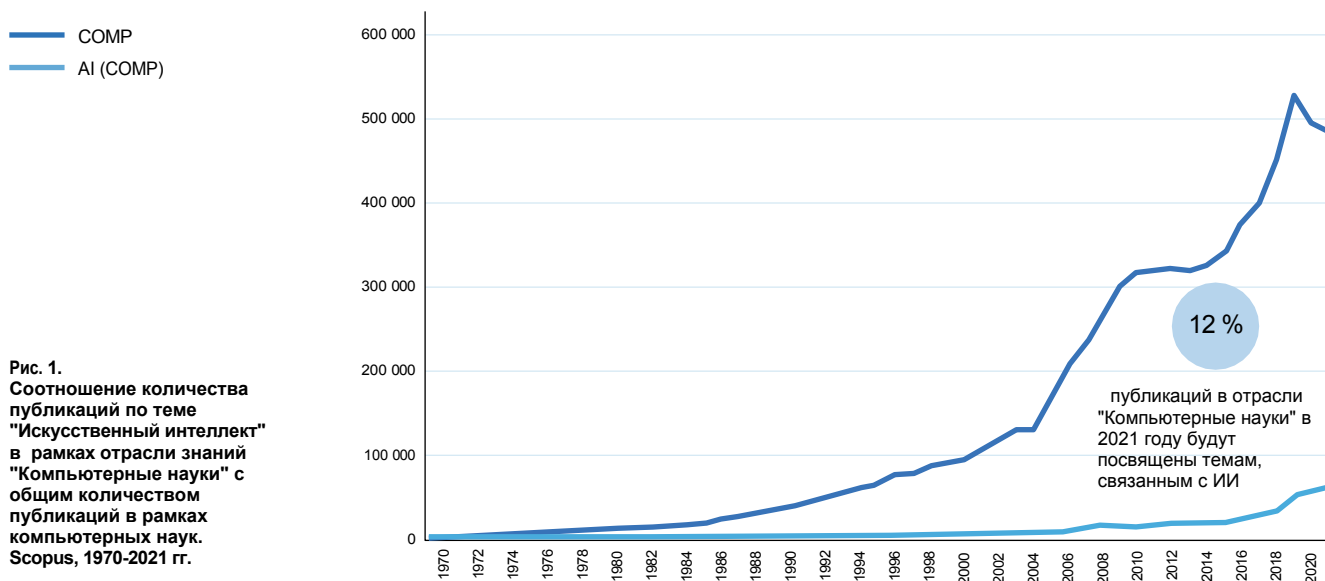
Рис. 17. Количество публикаций по ИИ среди исследовательских организаций Санкт-Петербурга в 2015-2022 годах (Scopus)

Рис. 18. Потенциал Санкт-Петербурга на российском рынке искусственного интеллекта

# Введение

На момент написания статьи Российская Федерация находилась под давлением беспрецедентного количества международных экономических санкций. В первую очередь они затронули высокотехнологичные отрасли и цепочки поставок. В этих условиях актуальным становится вопрос о дальнейшей эволюции технологий искусственного интеллекта (ИИ) в нашей стране. Искусственный интеллект, по мнению авторов доклада, - это прорывная технология для экономики, которая может сыграть решающую роль в развитии российской промышленности. В краткосрочной перспективе ИИ может стать ключевым инструментом для решения задач реинжиниринга и импортозамещения, а также обеспечить опережающее развитие отдельных направлений отечественной промышленности.

За последние 50 лет сформировалась новая технологическая структура современного общества. Значительный рост научных работ в области информатики (и в частности искусственного интеллекта) создал необходимые предпосылки для появления ряда закрывающих технологий, способных изменить глобальный баланс сил и завершить переход от индустриальной к цифровой эпохе.



Источник: Scopus

Новая цифровая среда значительно увеличила вычислительные мощности и объем хранимых знаний и стала основой для расширения рынка технологий ИИ в различных секторах экономики, от инженерных задач в промышленности до самых широких коммерческих приложений. ИИ стал основой промышленной и технологической политики в развитых странах мира.

ИИ стал основой промышленной и технологической политики в развитых странах, открывая новые возможности для реализации полномасштабной концепции "умной фабрики" и даже производства, ориентированного на ИИ. В то же время некоторые государства делают ставку на него как на критически важную технологию для своего развития, что ограничивает его распространение за рубежом. Например, в США в 2021 году был издан законопроект 1260<sup>1</sup>, который определил ограничения на передачу знаний и технологий, связанных с ИИ, для ряда стран (в том числе и России). Сейчас эти вызовы усугубляются, делая отечественную экономику более чувствительной к глобальным тенденциям развития. Российская индустрия ИИ стоит перед угрозой изоляции наших исследователей от мировой науки, разработчики начинают ощущать нехватку оборудования, предпринимаются попытки полной блокировки деятельности индустрии (в том числе блокировка аккаунтов GitHub)<sup>2</sup>.

1 S.1260 - United States Innovation and Competition Act of 2021 // Congress.gov, 2021. — URL: congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/1260.

2 GitHub начал блокировать аккаунты российских компаний и застройщиков // BFM.ru, 2022. - URL: bfm.ru/news/497819. (in Russian)



В результате возникает потребность перейти от состояния шока к состоянию новой открытости, что означает создание новых международных научных партнерств и стремление к достижению необходимого уровня технологической автономии. Стоит обратить внимание на риск новой "зимы ИИ" при использовании отдельных инструментов и ограничении доступа к аппаратному обеспечению (аналогично ситуации 1980-х годов). Это обстоятельство может быть особенно значимым для Российской Федерации, которая на неопределенное время оказалась изолированной от многих технологических цепочек. Более того, "зима ИИ" может оказаться главным ограничивающим фактором для восстановления и роста отечественной экономики. Ведь именно ИИ может стать основой современных технологий реинжиниринга - краеугольным камнем новой архитектуры импортозамещающих программ.

Несмотря на то что технологии ИИ развиваются в разных регионах страны, мы считаем, что Санкт-Петербург может стать одной из основных площадок для внедрения искусственного интеллекта в промышленность и создать стек специализированных технологий для развития промышленного ИИ, ориентированных на поддержку специалистов отрасли, которым приходится принимать решения в условиях неопределенности и неполноты данных. В городе уже существует развитая экосистема для разработки перспективных решений и систем, а также взаимодействия продуктивного профессионального экспертного сообщества с потребителями - различными отраслями промышленности. Экосистема включает в себя ведущие университеты и исследовательские организации города, Ассоциацию "ИИ в промышленности", компании и институты развития, активно инвестирующие в искусственный интеллект. В докладе рассматриваются механизмы развития промышленного ИИ усилиями профессионального сообщества и Правительства Санкт-Петербурга.

1

ЧАСТЬ

ОТ ШОКА ДО  
НОВАЯ ОТКРЫТОСТЬ

## 1.1

НОВЫЕ РИСКИ  
РЫНОК АВИАЦИИ

В условиях нестабильной геополитической обстановки развитие технологий искусственного интеллекта в России находится под угрозой изоляции. В результате санкций сокращается финансирование, нарушаются цепочки поставок компонентов, прекращается сотрудничество с российскими учеными<sup>3</sup>. В условиях нестабильной геополитической обстановки развитие технологий искусственного интеллекта в России находится под угрозой изоляции. В результате санкций сокращается финансирование, нарушаются цепочки поставок компонентов, прекращается сотрудничество с российскими учеными. Особенно болезненно санкции сказываются на поставках продукции двойного назначения, такой как чипы и полупроводники. Аппаратное обеспечение для индустрии искусственного интеллекта чрезвычайно важно. По оценке Всероссийской академии внешней торговли Министерства экономического развития РФ, объем импорта полупроводниковой продукции, попавшей под санкции, составит около 470 миллионов долларов в денежном выражении - примерно четверть всего импорта этого вида продукции.

■ Объем импорта полупроводников, который останется

■ Импорт полупроводников, попадающих под санкции

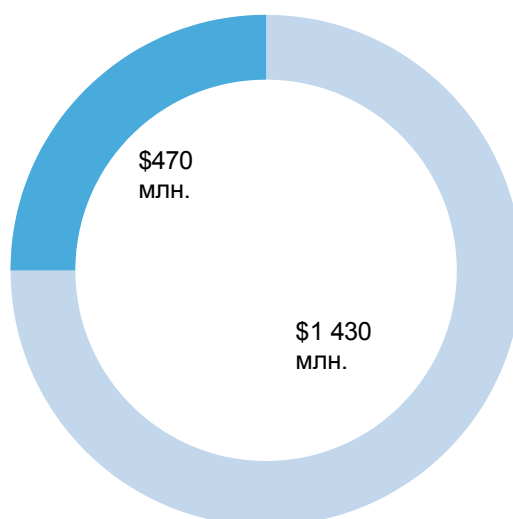


Рис. 2.  
Объем импорта полупроводников в Россию, на который повлияют экономические ограничения

Источник: BAVT

Введенные ограничения затрагивают практически все стратегически важные отрасли страны: оборонную, авиационную, судостроительную, финансовые технологии, телекоммуникации и т.д. Уход с российского рынка крупнейших поставщиков программного обеспечения (EPAM, Oracle, Microsoft и SAP), а также отказ в обслуживании, повысят уязвимость промышленных компаний и увеличат количество ошибок, осложняющих их работу<sup>4</sup>.

ИИ, хотя и подвержен аналогичным ограничениям, тем не менее может стать одним из основных механизмов развития российской промышленности в этих условиях. Он рассматривается как инструмент реинжиниринга технологий в реальном секторе экономики под задачи импортозамещения. Например, использование методов генеративного проектирования позволяет воспроизводить и ускорять цикл создания продукта с учетом свойств материалов, загрузки изделия и других параметров<sup>5</sup>. ИИ также открывает возможности для опережающего импортозамещения, создавая принципиально новые цифровые технологии в отраслях, традиционно основанных на экспериментальных подходах. По прогнозам экспертов, к 2025 году 30 % новых лекарств и материалов будут разрабатываться с помощью генеративных методов ИИ<sup>6</sup>.

<sup>3</sup> Николсон К. ЕС блокирует новые российские научные сделки и платежи / К. Николсон // ИсследованияПрофессиональные новости, 2022. - URL: [researchprofessionalnews.com/r-news-europe-politics-2022-3-eu-blocks-new-russia-research-deals-and-payments](https://researchprofessionalnews.com/r-news-europe-politics-2022-3-eu-blocks-new-russia-research-deals-and-payments).

<sup>4</sup> Грибов М. Импортозамещение в ИТ: Цифровая трансформация в российском софте / М. Грибов // RB.RU, 2022. - URL: [rb.ru/opinion/importozameshenie-v-it](https://rb.ru/opinion/importozameshenie-v-it). (на русском языке)

<sup>5</sup> Айвазян Д. Будущее инженерии: что такое генеративный дизайн и как его использовать / Д. Айвазян // RB.RU, 2022. - URL: [rb.ru/opinion/generativnyj-dizajn](https://rb.ru/opinion/generativnyj-dizajn). (in Russian)

<sup>6</sup> Гоасдуфф Л. 4 тренда, которые преобладают в цикле Gartner Hype Cycle для ИИ, 2021 год / Л. Гоасдуфф // Gartner, 2021. - URL: [gartner.com/en/articles/the-4-trends-that-prevail-on-the-gartner-hype-cycle-for-ai-2021](https://gartner.com/en/articles/the-4-trends-that-prevail-on-the-gartner-hype-cycle-for-ai-2021).

Однако в условиях ограничения доступа к научно-технической информации (в частности, ухода из страны WoS и Scopus<sup>7</sup>) увлечение "своим путем" повышает риск изоляционизма, что ухудшает качество исследований и усугубляет технологическое отставание. Адаптация отрасли к новой реальности предполагает выстраивание новых международных партнерств, изменение форматов сотрудничества и управление защитой прав интеллектуальной собственности. В любом случае закрытость от мирового научно-технического сообщества не является приемлемой стратегией для российской сферы ИИ.

7 Многопрофильное издательство  
Заявление  
31 марта 2022 г. //  
Mailchimp, 2022. - URL:  
mailchi.  
mp/4851e2a74119/joint-  
publisher-statement.

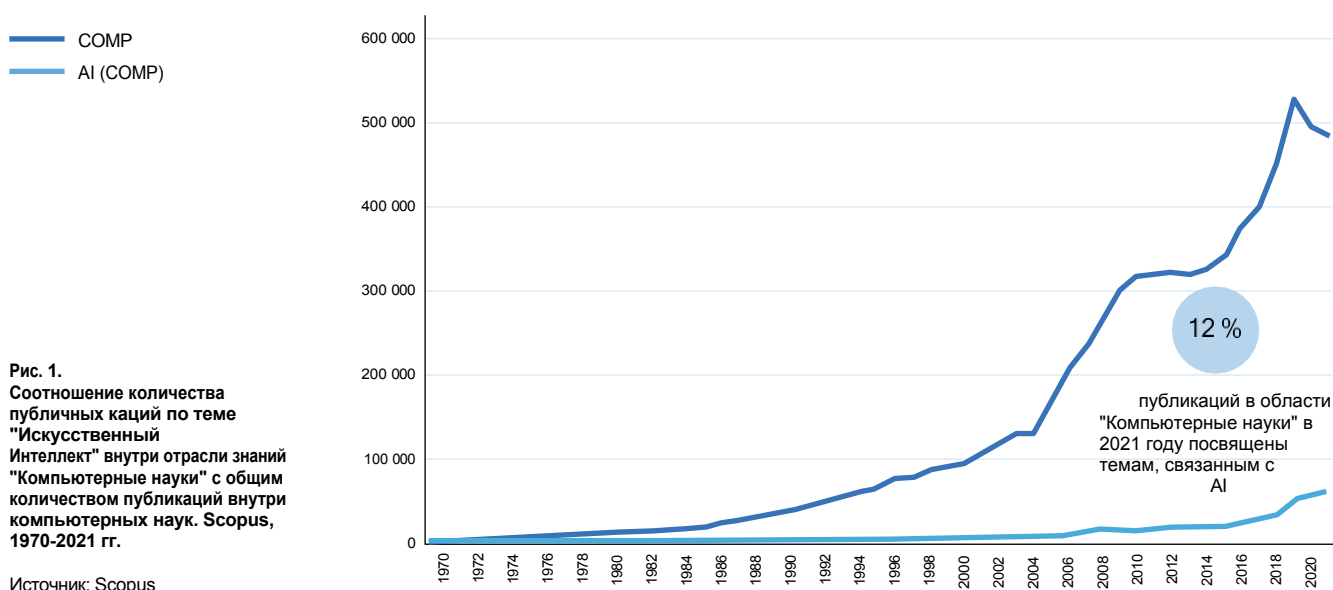
Поддержка научного сектора отрасли имеет огромное значение. Здесь можно выделить четыре основных риска.

## 1 Риски, связанные с ограничением двустороннего обмена научно-технической информацией

Важно поддерживать сотрудничество с нейтральными платформами и высокорейтинговыми журналами. Особенность современной науки в том, что прорывные исследования и разработки возникают преимущественно в обширных междисциплинарных и междисциплинарных суперкластерах и сетях. К рискам относятся явные и неявные ограничения доступа к международным реферативным системам и базам данных, препятствия для публикации статей в ведущих международных журналах, возникающие на уровне рецензирования, мнения членов редколлегии и главных редакторов. Такие действия порождают обратную реакцию в виде отказа отечественных научных коллективов от публикации статей в ведущих мировых журналах, от использования международных баз данных, в том числе WoS и Scopus, и связанный с этим риск потери актуальности и качества исследований. С 1996 по 2021 год в России было опубликовано 1 553 научные работы, написанные в сотрудничестве с иностранными исследователями (19,8 % от общего числа публикаций по ИИ).

8 Российская Федерация.  
Указы. О некоторых вопросах применения требований и целевых значений показателей, связанных с издательской деятельностью : постановление № 414 : [принято Правительством Российской Федерации 19 марта 2022 г.]. - URL: ips.pravo.gov.ru:8080/default.aspx?pn=0001202203210040. (in Русский)

Показателен пример развития китайской науки. Находясь под санкциями, Китай не только не отказался от публикаций в международных журналах, но и увеличил объем своего присутствия в них. Отдельно стоит отметить, что Постановление Правительства РФ № 414 не ограничивает использование зарубежных баз данных и право ученых публиковаться в высокорейтинговых журналах<sup>8</sup>.



## 2 | Риск потери качества экспертизы научных проектов

Для поддержания высокого уровня экспертизы необходимо сформировать эффективную и независимую внутреннюю систему оценки исследований экспертами, работающими в отрасли. Подобная инициатива уже была реализована Аналитическим центром при Правительстве РФ для проведения конкурса грантов на создание исследовательских центров ИИ. Был сформирован экспертный совет, который отбирает заявки и определяет, какие центры имеют шансы на максимальное развитие и конкретные результаты<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Шесть исследовательских центров искусственного интеллекта получат федеральные гранты в размере до 1 млрд рублей // Аналитический центр при Правительстве РФ, 2021. — URL: [ac.gov.ru/news/page/6-issledovatelских-centrov-po-ii-poluchat-federalnye-granty-do-1-mld-rublej-27059](https://ac.gov.ru/news/page/6-issledovatelских-centrov-po-ii-poluchat-federalnye-granty-do-1-mld-rublej-27059). (на русском языке)

## 3 | Риск сокращения сотрудничества в научном секторе (даже в пределах Российской Федерации)

Может произойти сокращение ресурсов, выделяемых на исследования в области ИИ, и потеря руководства исследованиями среди тех групп, которые участвовали в международных коллаборациях, прекративших свою деятельность. Необходимо привлечь к сотрудничеству шесть исследовательских центров ИИ, созданных в 2021 году, специализированные центры компетенций НТИ, а также все заинтересованные университеты и отраслевые ассоциации. Формировать коллаборации можно путем: создания внутреннего репозитория исследований (в том числе с открытым исходным кодом); разработки формата грантов и программ, ориентированных на межвузовское сотрудничество; создания специализированного журнала, способного в будущем выйти на уровень высокорейтинговых изданий (Q1) в мире.

## 4 | Риск снижения эффективности государственной поддержки в области ИИ

Круг исследовательских задач широк, а ресурсы ограничены. Целесообразно сосредоточиться на задачах и сверхзадачах, имеющих большое общественное значение. Регулярная оценка результатов исследований поможет выявить риски потери приоритетов и угрозы интересам государства. В Великобритании созданы комиссии с аналогичными целями. Помимо библиометрического обзора, каждые три-четыре года собирается экспертная комиссия, которая оценивает ранее опубликованные научные статьи по уровню значимости (мировое значение, национальное, региональное, незначительная публикация). Каждые 15-20 лет формируется комиссия для изучения национальных публикаций по фундаментальным областям знаний.

В ситуации, когда многие технологии будут недоступны для российских предприятий, остро встанет вопрос о собственных передовых разработках, способных обеспечить эффективное функционирование производственных мощностей, снижение себестоимости продукции, цифровую трансформацию существующих подходов и решение новых задач в ключевых отраслях экономики. Однако перевод, например, всей машиностроительной продукции в России на отечественную электронную компонентную базу потребует больших временных и финансовых затрат. ИИ станет необходимым компонентом таких технологий. Крайне важно, чтобы инвестиции в искусственный интеллект в ближайшие годы имели достаточный объем и были направлены на технологии, обеспечивающие прорыв в производстве, научных и конструкторских разработках и потребительских услугах в России.

# 1.2 ВОЗМОЖНА ЛИ НОВАЯ "АЙСКАЯ ЗИМА"?

быстром  
компьютерном  
оборудовании,  
способном собирать  
и обрабатывать  
большие объемы  
обучающих данных.  
Эта стратегия  
"увеличения  
масштаба"  
развивается со  
времен ImageNet  
(2012), которая  
положила начало  
революции глубокого  
обучения<sup>24</sup>.

Несмотря на значительный потенциал для дальнейшего применения ИИ, существуют серьезные проблемы, которые могут ограничить дальнейшее расширение этого рынка. Эксперты признают, что грядет новая "зима ИИ". Основная причина - аппаратные ограничения, вызванные сбоем в цепочке поставок и выходом за пределы вычислительных возможностей.

За последние 10 лет мы стали свидетелями третьей волны крупных инвестиций в ИИ. С 2012 по 2020 год совокупный объем инвестиций в ИИ составил около 346,4 млрд долларов. По сравнению с 2012 годом объем инвестиций вырос в 26 раз<sup>10</sup>. ИИ присутствует практически в каждом продукте экосистемы Google (поиск, облако, игры)<sup>11</sup>. В 2020 году, согласно исследованию Gartner, 66 % опрошенных компаний увеличили или не изменили свои инвестиции в искусственный интеллект с момента начала пандемии COVID-19<sup>12</sup>. Можно утверждать, что компании рассматривают ИИ в первую очередь как инструмент для решения конкретных прикладных задач<sup>11</sup>.

Но при всех инвестициях, высоких темпах развития и внедрения технологий ИИ до сих пор нет надежных и массовых решений в области беспилотных автомобилей, автономных систем управления умными устройствами, самообучающихся цифровых ассистентов<sup>13</sup>. В 2016 году Business Insider предсказал, что к 2020 году на дорогах будет 10 миллионов беспилотных автомобилей<sup>14</sup>. В 2019 году Элон Маск был уверен - через год в мире будет 1 миллион автономных такси<sup>15</sup>, а в 2022 году появится робот с сильным искусственным интеллектом<sup>16</sup>. Ни одно из этих предсказаний пока не сбылось. Чрезмерный оптимизм в отношении прогресса искусственного интеллекта опасен: если развитие технологий не оправдает существующих ожиданий (и инвестиций), может наступить новая "зима ИИ" с оттоком средств и исследований из индустрии, подобно прошлым этапам развития ИИ<sup>17, 13</sup>.

В 1960-х годах первые исследователи ИИ полагали, что пройдет около 10 лет, прежде чем появятся интеллектуальные машины, способные мыслить на уровне человека<sup>18</sup>. Тем не менее, даже сейчас алгоритмы далеки от воспроизведения человеческого мышления. Исследователям было интересно использовать дедуктивные методы обучения. Американские ученые создали математическую модель нейрона человеческого мозга, первую нейронную сеть (персептрон) и первый нейрокомпьютер, распознающий латинские буквы<sup>19</sup>. В середине 1970-х годов британский ученый Джеймс Лэтилл и исследовательская организация DARPA выпустили параллельные отчеты, в которых задавались вопросом, принесут ли исследования ИИ пользу в ближайшем будущем<sup>20, 21</sup>.

В 1980-х годах ИИ базировался на двух технологиях: 1) экспертные системы, основанные на правилах; 2) нейронные сети, возникшие благодаря появлению новых алгоритмов обучения<sup>19</sup>. А в конце десятилетия ряд событий (крах рынка машин LISP\*, отсутствие значимых результатов в проекте "Пятое поколение") привел к "зиме ИИ", оттоку инвестиций и исследований из отрасли. Дедуктивный подход оказался тупиковым из-за отсутствия необходимых мощностей, сложной системы правил, невозможности создания базы знаний для новых областей науки<sup>22</sup>.

Во время "зимы ИИ" развивалось машинное обучение (ML), которое началось со статистической теории обучения, а затем перешло к индуктивным методам вывода<sup>23</sup>. К 2010-м годам эта волна получила мощный импульс с появлением нейронных сетей, обучающихся на больших массивах данных<sup>18</sup>.

Основной движущей силой современного машинного обучения является глубокое обучение - развертывание более обширных нейронных сетей на более

- 10 Общий объем венчурных инвестиций в ИИ по странам и отраслям // OECD.AI, 2022. - URL: [oecd.ai/en/data?selectedArea=invest-инвестиции в ай&selectedVisualization=total-vc-invest-ments-in-ai-by-country-and-industry](https://oecd.ai/en/data?selectedArea=invest-инвестиции%20в%20ай&selectedVisualization=total-vc-invest-ments-in-ai-by-country-and-industry)
- 11 Доходы от продаж программного обеспечения для искусственного интеллекта достигнут \$59,8 млрд в мире к 2025 году // Businesswire, 2017. - URL: [businesswire.com/news/home/20170502006394/en/Artificial-Intelligence-Software-Revenue-to-Reach-59.8-Billion-worldwide-by-2025](https://businesswire.com/news/home/20170502006394/en/Artificial-Intelligence-Software-Revenue-to-Reach-59.8-Billion-worldwide-by-2025)-аккорду-трактики.
- 12 Исследование Gartner показало, что 66 % организаций увеличили или не изменили объем инвестиций в ИИ с начала COVID-19 // Gartner, 2020.  
— URL: [gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-10-01-gartner-survey-reveals-66-percent-of-organizations-increased-or-did-not-change-ai-investments-since-the-onset-of-covid-19#:~:text=October%201%2C%202020,Gartner%20Survey%20Reveals%2066%25%20of%20Organizations%20Increased%20or%20Did%20Not,the%20Onset%20of%20COVID%2D19](https://gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-10-01-gartner-survey-reveals-66-percent-of-organizations-increased-or-did-not-change-ai-investments-since-the-onset-of-covid-19#:~:text=October%201%2C%202020,Gartner%20Survey%20Reveals%2066%25%20of%20Organizations%20Increased%20or%20Did%20Not,the%20Onset%20of%20COVID%2D19).
- 13 Митчелл М. Почему ИИ сложнее, чем мы думаем / М. Митчелл  
// Arxiv, 2021. -  
URL: [arxiv.org/pdf/2104.12871.pdf](https://arxiv.org/pdf/2104.12871.pdf).
- 14 10 миллионов самоуправляемых автомобилей появятся на дорогах к 2020 году // BI Intelligence, 2016. - URL: [businessinsider.com/report-10-million-self-driving-cars-will-be-on-the-road-by-2020-2015-5-6](https://businessinsider.com/report-10-million-self-driving-cars-will-be-on-the-road-by-2020-2015-5-6).
- 15 Финансирование революции: Government Support for Computing Research // National Academy Press, 1999. - URL: [web.archive.org/web/20080112001018/http://www.nap.edu/readingroom/books/far/ch9.html](https://web.archive.org/web/20080112001018/http://www.nap.edu/readingroom/books/far/ch9.html).
- \* Lisp - язык программирования, использующий методы экспертных систем.



Одиннадцать лет спустя глубокое обучение по-прежнему доминирует в развитии машинного обучения: 2021 год стал годом "чудовищных моделей ИИ"<sup>25</sup>.

Глубокое обучение критикуют за то, что оно слишком ресурсоемко. По оптимистичным прогнозам, чтобы получить коэффициент ошибок в 5 % для базы данных ImageNet, необходимо увеличить вычисления на 105 гигафлопс. Затраты увеличатся на 1010 долларов, выбросы CO<sub>2</sub> - на 104 фунта<sup>26</sup>.

- 16** Маск объявил о создании человекоподобный робот Tesla Bot // Forbes, 2021. - URL: [forbes.ru/newsroom/milliardery/437783-maska-obъяvil-o-sozdaniichelovekopodobnogo-robotat-tesla-bot](https://forbes.ru/newsroom/milliardery/437783-maska-obъяvil-o-sozdaniichelovekopodobnogo-robotat-tesla-bot).
- 17** Темные века искусственного интеллекта: панель обсуждения на AAAI-84 / Макдермотт Д., Уолдроп М. М., Schank R. [et al.] // AI Журнал. - 1985. - № 8-3. - С. 122-134.
- 18** Брукс Р. Неудобный Правда об искусственном интеллекте - ИИ не будет превосходить человеческий интеллект В ближайшее время / Р. Брукс // IEEE Spectrum, 2021 г. - URL: [mordorintelligence.com/отраслевые-отчеты/природные-рынок-языковой-обработки](https://mordorintelligence.com/отраслевые-отчеты/природные-рынок-языковой-обработки).
- 19** Ясницкий Л. Зима наступает. Почему искусственный интеллект может потерять популярность / Л. Ясницкий // NRU HSE, 2019. - URL: <https://iq.hse.ru/news/298467405.html>.
- 20** Нильд Т. Глубокое обучение уже Удар по пределам? / Т. Нильд // Towards Data Наука, 2019 г. - URL: [towardsdatascience.com/is-deep-learning-already-hit-its-limitations-c81826082ac3](https://towardsdatascience.com/is-deep-learning-already-hit-its-limitations-c81826082ac3).
- 21** Финансирование революции: Государственная поддержка Исследование вычислительной техники // Издательство Национальной академии [сайт], 1999. - URL: [web.archive.org/web/20080112001018/http://www.nap.edu/readingroom/books/far/ch9.html](https://web.archive.org/web/20080112001018/http://www.nap.edu/readingroom/books/far/ch9.html).
- 22** Хокинс Эй Джей. Здесь Элон. Самые смелые предсказания Маска о самоуправляемых автомобилях Tesla / Эй Джей Хокинс // The Verge, 2019. - URL: [theverge.com/2019/4/22/18510828/tesla-elon-musk-autonomy-den-investor-commentary-driving-cars-predictions](https://theverge.com/2019/4/22/18510828/tesla-elon-musk-autonomy-den-investor-commentary-driving-cars-predictions).
- 23** На основе интервью с Л.В. Уткин (СПбПУ) // КСО "Север-Фонд "Вест", 2021 год.
- 24** Форд М. Правило роботов: Предупреждающие знаки / М. Форд // IEEE Spectrum, 2021 г. - URL: [spectrum.ieee.org/rule-of-the-robots-book](https://spectrum.ieee.org/rule-of-the-robots-book).
- 25** Небеса В. Д. 2021 год был годом Модели искусственного интеллекта монстров / В. Д. Рай // MIT Technology Review, 2021. - URL: [technologyreview.com/2021/12/21/1042835/2021-это-был-год-монстра-ай-models/?truid=&utm\\_source=the\\_download&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=the\\_скачать.неоплаченный.ангажемент&utm\\_term=&utm\\_content=12-22-2021&mc\\_cid=eced389005&mc\\_eid=fdcf859c6](https://technologyreview.com/2021/12/21/1042835/2021-это-был-год-монстра-ай-models/?truid=&utm_source=the_download&utm_medium=email&utm_campaign=the_скачать.неоплаченный.ангажемент&utm_term=&utm_content=12-22-2021&mc_cid=eced389005&mc_eid=fdcf859c6).
- 26** Вычислительные пределы Глубокое обучение / Н. К. Томп. сын, К. Гриневальд, К. Ли, Г. Ф. Мансо / arXiv, 2020. - URL: [arxiv.org/abs/2007.05558](https://arxiv.org/abs/2007.05558).

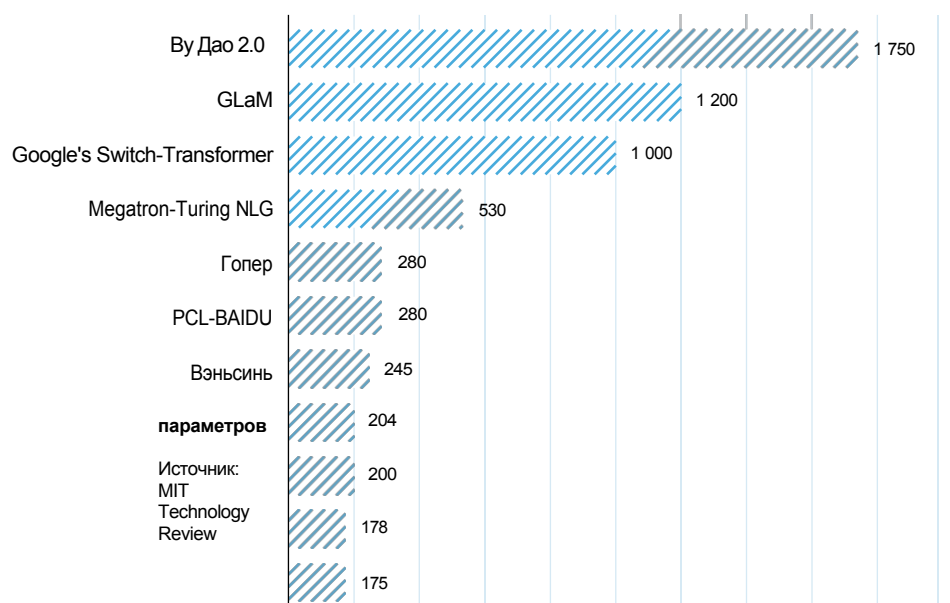


Рис. 4.  
Количество параметров  
современных моделей ИИ, млрд

Юань 1.0 Гиперклова

PanGu Jurassic-1

ГПТ-3

0	200	400	600	8001
000 1	2001	4001	6001 800 2 000	

Помимо стоимости ресурсов, дальнейшее развитие глубоких нейронных сетей сдерживается следующими ограничениями<sup>27,24</sup>.

- "Хрупкость" - система не способна адаптироваться к небольшим изменениям входных данных;
- Качество работы нейронных сетей зависит от качества и количества поступающих данных;
- Катастрофическое забывание - когда нейронные сети учатся новой задаче, старые задачи забываются;
- неспособность объяснить результаты решения задач с помощью нейронных сетей в ситуациях повышенного риска;
- "Самодостаточность" алгоритмов машинного обучения - ИИ должен понимать, когда он не уверен в результатах или не имеет достаточных знаний об объекте, и действовать соответствующим образом (например, передавать управление автомобилем человеку при обнаружении совершенно нового объекта на дороге);
- отсутствие у ИИ здравого смысла - способности оценивать обстоятельства и действовать в соответствии с ними;
- Нейронные сети плохо решают математические задачи.

Кроме того, существуют математические ограничения в виде вопроса о равенстве классов сложности P и NP. В случае положительного ответа (P равно NP) многие сложные задачи будут решаться гораздо быстрее, чем сейчас<sup>28</sup>. Спустя полвека после формализации проблемы все больше ученых склоняются к мнению, что P не равно NP. Этот барьер в исследованиях ИИ, возможно, никогда не будет преодолен, и сложность алгоритмов всегда будет ограничивать наши возможности<sup>20</sup>.

Несмотря на ряд глобальных предпосылок, способных перевести рынок ИИ в состояние "зимы", вряд ли это произойдет со всеми его сегментами. Лишь некоторые из них будут замедлены. Специалисты считают, что индустрия придет к отклонению от стратегического направления глубокого обучения: когда-то исследования ушли от экспертных сетей, а теперь они смогут отойти от ML, полностью положившись на нейронные сети<sup>23</sup>.

Для российского рынка ситуация "зимнего ИИ" может быть связана с дефицитом аппаратного обеспечения из-за разрыва цепочек поставок, принципиально важных для работы с большими нейронными сетями. Это может привести к концентрации имеющихся ресурсов на задачах, обеспеченных заказом, в ограниченном круге отраслей.

27 Чиверс Т. Как Deepmind заново изобретает робота /. T. Chivers // IEEE Spectrum [сайт], 2021. - URL: spectrum.ieee.org/how-deepmind-is-reinventing-the-robot.

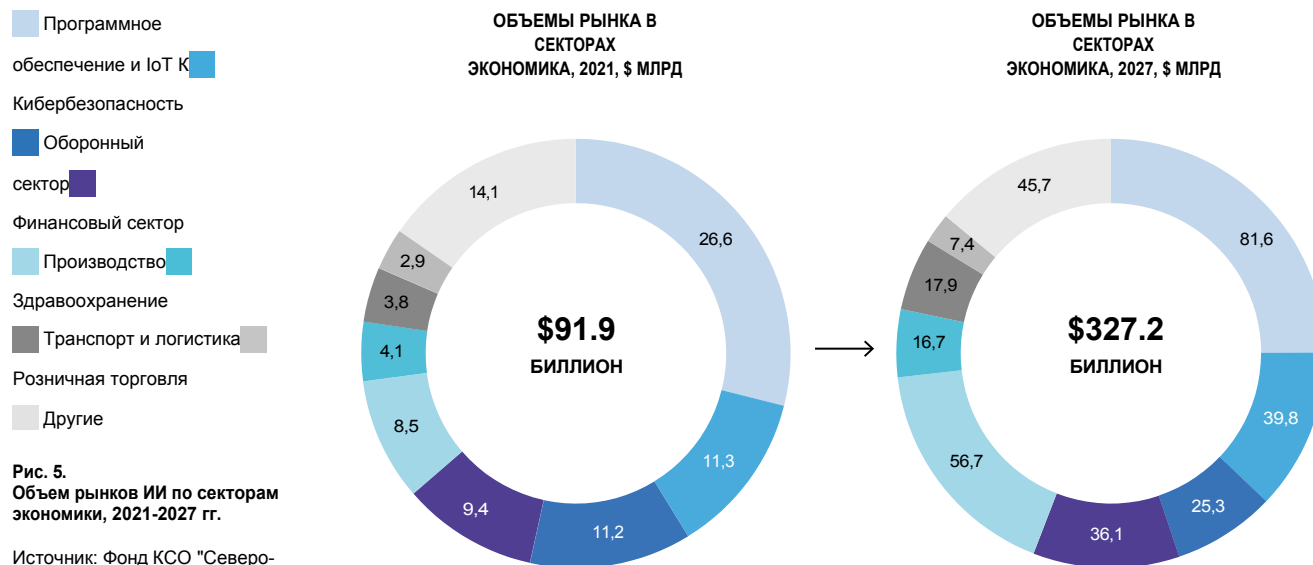
28 Равенство классов P и NP // Академический: Академический словарь, 2010. - URL: dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/93836. (in Russian).

# 1.3 ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ЕСТЬ ВАЖНЕЙШИЙ ФАКТОР РОСТА РЫНКА

Предприятия и организации во всех отраслях увеличивают инвестиции в ИИ, чтобы сохранить конкурентоспособность и повысить эффективность. Например, исследование Harvard Business Review показало, что увеличение количества роботизированных транзакций за счет использования ИИ приводит к росту продаж. Согласно отчетам консалтинговых компаний, ожидается, что в 2019 году количество роботизированных сделок достигнет отметки в 10,1 млрд долларов<sup>11</sup>. В целом, по прогнозам, расходы на системы искусственного интеллекта вырастут с 85,3 млрд долларов в 2021 году до 204 млрд долларов в 2025 году при среднегодовом темпе роста в 24,5 %<sup>29</sup>.

Накопленный потенциал Индустрии 4.0, которая за последнее десятилетие способствовала автоматизации и цифровизации промышленности, открывает возможности для развития ИИ. Информация, которая накапливается в промышленных базах данных, позволяет предположить, что промышленность станет одним из ключевых драйверов развития ИИ. К 2027 году максимальные темпы роста применения ИИ будут наблюдаться в производственной сфере - на уровне 31,1 % CAGR. За ней с большим отрывом следуют логистика (CAGR 24,7 %), здравоохранение (CAGR 22 %) и финансовый сектор (CAGR 21 %).

<sup>29</sup> Инвестиции в решения на основе искусственного интеллекта будут расти по мере того, как бизнес будет стремиться к пониманию, эффективности и инновациям, говорится в новом руководстве IDC по расходам // International Data Corporation, 2021. - URL: [idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS48191221](https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS48191221).



Промышленность является одним из драйверов рынка искусственного интеллекта в США, Китае, Великобритании, Индии, Южной Корее и странах ЕС. Она также станет одним из основных заказчиков искусственного интеллекта и связанных с ним исследований в России.

Однако в отличие от многих развитых стран, где ключевые роли принадлежат компаниям, специализирующимся на ИИ (например, DeepMind), в нашей стране большое значение будет иметь нефтегазовый бизнес<sup>30, 31, 23</sup>. Это объясняется его высокой устойчивостью к санкциям, а также потребностью в отраслевых решениях на разных технологических этапах (включая металлообработку, машиностроение, строительство, логистику и т. д.). Наряду с металлургией, химической промышленностью и некоторыми другими обрабатывающими отраслями, именно нефтегазовый сектор претендует на звание

наиболее активной отрасли, заинтересованной в развитии рынка технологий ИИ. Компании отрасли иницируют масштабные совместные проекты и заказывают исследования и разработки в этой области. В 2021 году Ассоциация "Искусственный

30 На основе интервью с  
V. B. К л и м о в (МИФИ)  
// C S R " N o r t h - W e s t " F o u n d a t i o n , 2 0 2 1 .

Интеллект в промышленности" (учредитель - ПАО "Газпром нефть", позже к нему присоединилось ПАО "Татнефть"). Ассоциация поддерживает исследовательские центры и коллективы ученых, занимающихся ИИ, реализует образовательные программы для студентов вузов и сотрудников промышленных предприятий, проводит мероприятия по развитию рынка ИИ-технологий.

Нефтегазовая отрасль также играет значительную роль на мировом рынке ИИ. Ориентация развитых стран на декарбонизацию, усиление конкуренции на рынке нефтегазового сырья - в этих условиях большие надежды возлагаются на искусственный интеллект. Компании объединяются в консорциумы, направляя совместные усилия на создание масштабных ИИ-технологий, позволяющих решать вопросы операционной и производственной эффективности. Один из самых ярких примеров - консорциум Shell, Baker Hughes, C3 AI и Microsoft, реализующий инициативу Open AI Energy Initiative<sup>32</sup>.

31 На основе интервью с М. В. Болсуновская (СПбПУ) // Фонд КСО "Северо-Запад", 2021.

32 Shell, C3 AI, Baker Hughes и Microsoft запускают инициативу Open AI Energy Initiative, экосистему решений на основе искусственного интеллекта для преобразования энергетической отрасли // C3.ai, 2021. - URL: c3.ai/shell-c3-ai-baker-hughes-and-microsoft-запуск-открытой-ai-энергетической-инициативы-ан-экосистемы-ai-решений-помощи-в-преобразовании-энергетической-индустрии.

## UPSTREAM



### AI В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

- Анализ формирования
- Получение сейсмических данных
- Обработка сейсмических данных
- Трехмерная визуализация сейсмических данных



### AI В РАЗВЕДЧНОМ БУРЕНИИ

- Хорошее планирование
- Автоматизация буровых установок
- Мониторинг бурения
- Оптимизация бурения в режиме реального времени
- Испытания скважин с помощью интеллектуальных датчиков
- Прогноз отказов оборудования



### AI В ОЦЕНКЕ

- Управление геологическими и геофизическими данными
- Оцифровка каротажных диаграмм
- Интерпретация каротажных диаграмм
- Расчеты сметного бурения
- Моделирование резервуаров
- Характеристика резервуаров



### AI В РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

- Расположение скважин и их оптимизация, контроль за работой скважин и т.д.



### AI В НЕФТЕДОБЫЧЕ

- Обеспечение пластового давления, контроль безопасности, прогнозирование поведения пласта и т.д.

## MIDSTREAM



### AI В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРУБОПРОВОДОВ

- Оптимизация маршрута строительства трубопровода
- Определение мест расположения терминалов и подключения трубопроводов



### AI В ТРАНСПОРТЕ

- Расчет наиболее экономичного маршрута
- Автопилот и системы стыковки
- Мониторинг танкеров



### AI В ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

- Автоматизация компрессорных станций
- Раннее предупреждение о неисправностях
- Мониторинг и диагностика коррозии



### AI В РАСПРЕДЕЛЕНИИ РЕСУРСОВ

- Анализ экономических и погодных условий для прогнозирования спроса
- Оптимизация хранения

## DOWNSTREAM



### AI В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ

- Автоматизация и оптимизация активов процессов нефтепереработки
- Использование датчиков и микроконтроллеров для обслуживания инфраструктуры и раннего предупреждения аварий



### AI В УПРАВЛЕНИИ НЕФТЕХРАНИЛИЩЕМ

- Предиктивная аналитика и алгоритмы предиктивного управления
- Сокращение расходов на эксплуатацию склада
- Эффективное обслуживание оборудования

### AI В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- Удаленный мониторинг складских помещений и оборудования
- Обнаружение утечек
- Обнаружение деформации оборудования

Рис. 6.  
Типичные области применения ИИ в нефтегазовой промышленности

Источник: Фонд КСО "Северо-Запад" по данным Королевского колледжа Лондона, Европейского центра по энергетической и ресурсной безопасности

Металлургия уделяет большое внимание применению ИИ. Уже сегодня спектр применения ИИ достаточно широк. Как и в нефтегазовой отрасли, он охватывает все основные этапы технологического процесса: добычу полезных ископаемых, переработку руды, производство чугуна и стали, прокат, логику, продажи и маркетинг. Группы НЛМК заключила соглашение о стратегическом партнерстве с Ассоциацией лабораторий искусственного интеллекта, планируя расширять сотрудничество в области цифровизации различных производственных процессов, включая Интернет вещей и технологии искусственного интеллекта<sup>33</sup>.

33 Группа НЛМК тестирует инновации в области Интернета вещей и искусственного интеллекта // НЛМК, 2021. - URL: [nlmk.com/ru/media-center/press-releases/nlmk-pilots-iiot-and-ai-innovations](https://nlmk.com/ru/media-center/press-releases/nlmk-pilots-iiot-and-ai-innovations). (на русском языке)

33

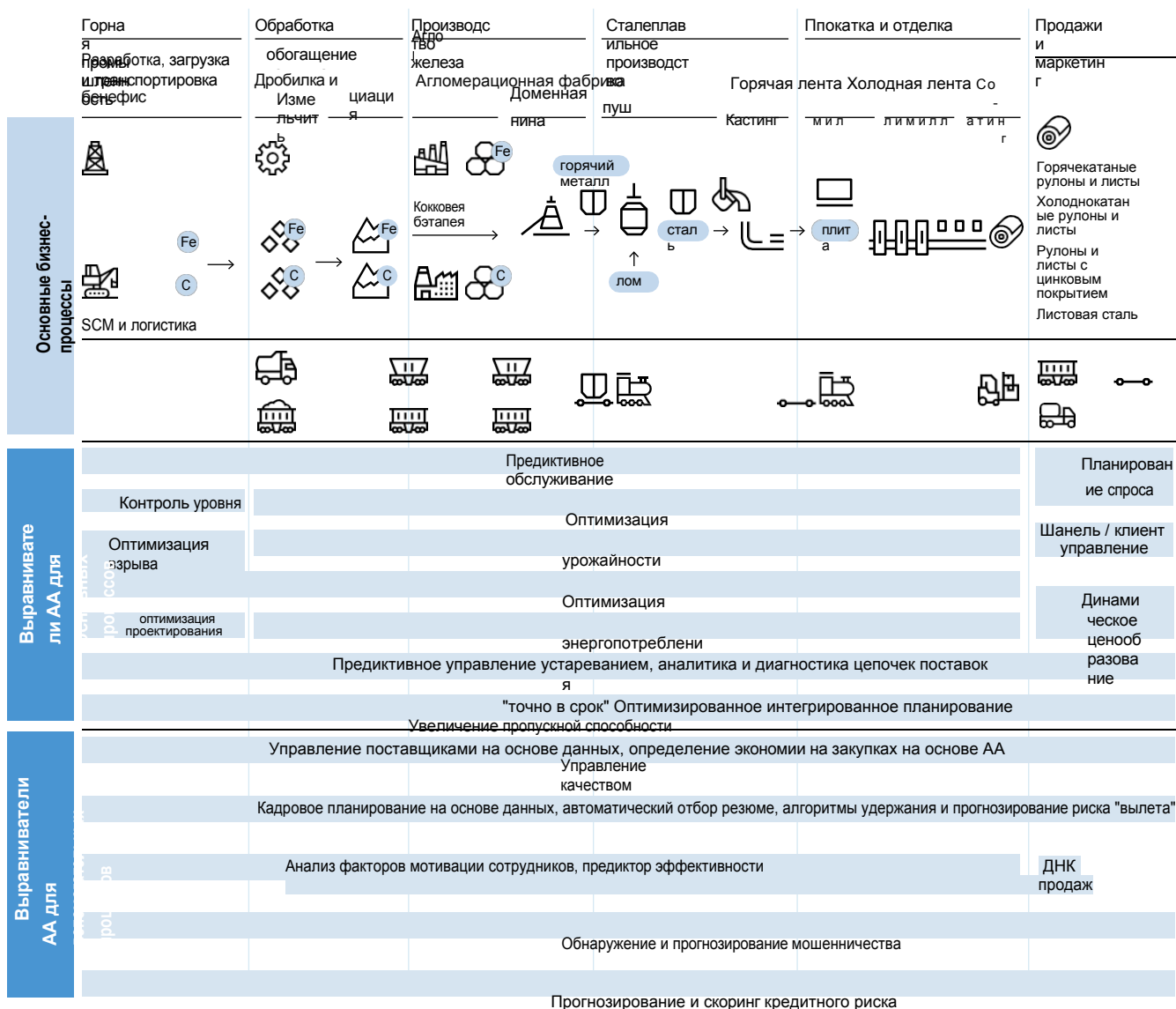


Рис 7. Типичные применения ИИ в металлургической промышленности

Источник: НЛМК<sup>34</sup>

34 Аршавский А. Искусственный интеллект в металлургии / А. Аршавский. // НЛМК, 2018. - URL: [cloud-digital.ru/sites/default/files/13.25-13.45\\_arhovsky\\_nlmk\\_new.pdf](https://cloud-digital.ru/sites/default/files/13.25-13.45_arhovsky_nlmk_new.pdf). (in Russian)

Аналогичные тенденции наблюдаются и в других отраслях, что говорит о потенциале сектора, а также о специфике отечественного рынка ИИ. В условиях санкционных ограничений и разрыва международных технологических цепочек с участием российских предприятий перед российской промышленностью стоят системные вызовы, связанные с поиском путей достижения технологической автономии и самодостаточности. Отечественные решения в области искусственного интеллекта являются одним из важнейших средств продвижения в этом направлении.

# ЧАС ТЬ 2

## ДОЛГОСРОЧН ЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ



А  
Й

## 2.1

## БУДУЩЕЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННО ГО ИНТЕЛЛЕКТА

Наука об искусственном интеллекте в значительной степени опирается на достижения в смежных областях - вычислительной технике и манипулировании данными. Поскольку эти области знаний формируют основу для развития ИИ, их следует рассматривать в первую очередь. Преодоление ряда рубежей в этих областях может обеспечить значительный прогресс в области искусственного интеллекта.

В разных исследовательских группах и странах штурмовые зоны называют по-разному - увеличение параметров моделей ИИ, повышение сложности алгоритмов, обратная мозговая инженерия, разговорный интеллект и т. д.<sup>35</sup>. Для российского рынка ИИ специфика пограничной зоны может не совпадать с глобальной.

### Границы вычислительной техники

## 1

#### Квантовые вычисления

Квантовый искусственный интеллект, то есть ИИ, вычисления которого выполняются квантовым компьютером<sup>36</sup>, пока далек от реализации: 8-кубитные и 16-кубитные квантовые компьютеры используются в фундаментальной науке, но не приносят значительных результатов в науке об искусственном интеллекте<sup>37</sup>.

Большинство классических алгоритмов ИИ уже переведены на квантовые компьютеры, поэтому основным направлением на данный момент является создание квантовой вычислительной системы, которая может быть использована в задачах машинного обучения с большей эффективностью, чем традиционное вычислительное оборудование<sup>31</sup>.

Для этого квантовые вычислительные системы должны стать более устойчивыми к ошибкам и более мощными. Необходимо создать фреймворки для моделирования и обучения систем ИИ, которые станут общепринятыми за счет открытого исходного кода и будут способствовать развитию сообщества разработчиков и появлению новых сценариев квантового ИИ приложений<sup>31</sup>.

<sup>35</sup> Шумский С. А. Воспитание машин: Новая история разума / С. А. Шумский. - Москва: Альпина нон-фикшн, 2021. - 174 с. (на русском языке)

<sup>36</sup> Дильмегани С. Углубленное руководство по квантовому искусственному интеллекту в 2022 году / С. Дильмегани // AI Multiple, 2022. - URL: [research.aimultiple.com/quantum-ai](https://research.aimultiple.com/quantum-ai).

<sup>37</sup> По материалам интервью с А.А. Фильченковым (ИТМО) // Фонд КСО "Северо-Запад", 2021.

## 2 | Распределенные системы

Традиционно модели ИИ обучаются на высокопроизводительных системах с SIMD-архитектурой (серверы с видеокартами). Однако работа с крупномасштабными моделями ИИ и, главное, с большими данными требует разработки специализированных распределенных систем, включающих географически разнесенные вычислительные системы разных архитектур, которые могут принадлежать разным владельцам. Для таких систем задача обучения модели становится иерархической. Основная проблема таких распределенных систем - перенос на них архитектур моделей машинного обучения, особенно в части размещения данных. Также необходимо разработать методы реализации параллельных вычислений в таких системах, включая планирование и управление ресурсами<sup>31</sup>.

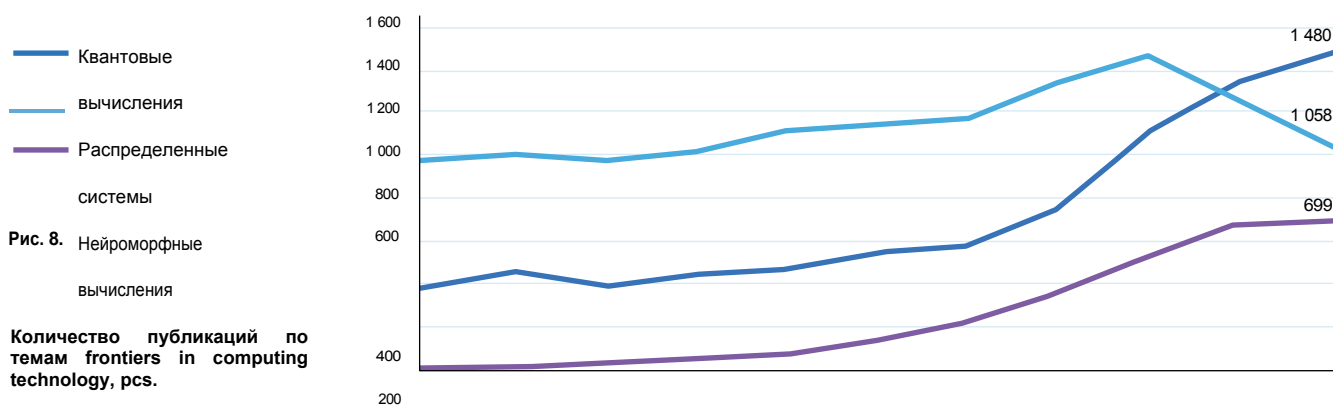
Решение вышеперечисленных задач позволит значительно улучшить возможности сотрудничества научных групп и упростить доступ к данным, расположенным в распределенных источниках<sup>31</sup>.

## 3 | Нейроморфные вычисления

Современные вычисления основаны на фон-неймановских архитектурах, которые предполагают перемещение данных между физически разделенными процессором и памятью. В такой среде при интенсивных вычислениях неизбежны просадки мощности процессора, особенно в задачах искусственного интеллекта, которые в большей степени, чем другие, зависят от больших объемов данных.

Ответом на этот вызов станет переход вычислительного оборудования, используемого для запуска моделей ИИ, на нейроморфные системы, структурные элементы которых могут одновременно хранить и обрабатывать данные подобно нейронам мозга. В основе таких систем лежат шипованные нейронные сети, которые выступают в качестве заменителя современных процессоров. Вместо транзисторов используются искусственные нейроны, каждый из которых способен функционировать самостоятельно и посылать сигналы другим нейронам в сети. Кодирова информацию в самих сигналах и их периодичности, нейронные сети с шипами имитируют естественные процессы обучения в ответ на внешние раздражители.

Разработка нейроморфных вычислительных систем по-прежнему ограничена из-за высокой стоимости и сложности масштабирования. Хотя многие нейроморфные системы позволяют проводить обучение в реальном времени, первоначальное обучение моделей ИИ все еще приходится проводить на традиционных архитектурах. Для нейроморфных процессоров также не разработаны архитектуры наборов инструкций (ISA), способные полностью реализовать их потенциал. Другим перспективным направлением является разработка моделей искусственного интеллекта, ориентированных на конкретные задачи и встроенных непосредственно в аппаратное обеспечение нейроморфных систем - аналоговый ИИ.



2011	2012	2013	2014	2015
	2016	2017	2018	2019
	2020	2021		

## Методологические рубежи ИИ и работа с данными

### 1 Интеграция нейросетевого и когнитивного подходов

Основанный на знаниях подход к ИИ называется когнитивным (символическим)<sup>38</sup>. Он лег в основу экспертных систем, которые были разработаны в 1980-х годах. В настоящее время интерес к этому направлению возрождается, поскольку именно знания, а не данные, могут стать основой для автономного принятия решений искусственным интеллектом<sup>39</sup> и переноса опыта с одной задачи на другую<sup>40</sup>. Это позволит применять ИИ в неформализованных областях и создавать многоуровневые системы искусственного интеллекта для бизнеса, состоящие из множества агентов, действующих на основе знаний (системы эмерджентного интеллекта)<sup>39</sup>. Однако проблема интеграции знаний в архитектуру существующих нейронных сетей остается нерешенной<sup>38</sup>.

38 По материалам интервью с А. В. Самсоновичем (НИЯУ МИФИ) // Фонд КСО "Северо-Запад", 2021.

39 На основе интервью с П. О. Скобелевым (ИПУСС РАН) // Фонд КСО "Северо-Запад", 2021.

40 По материалам интервью с А. Л. Тулупьевым (СПбГУ) // Фонд КСО "Северо-Запад", 2021.

### 2 Гибридные интеллектуальные системы

Гибридный интеллект предполагает создание систем, в которых искусственный интеллект работает в связке с естественным, расширяя возможности человека без передачи полного контроля машине<sup>41</sup>.

Границами создания гибридных интеллектуальных систем является обеспечение совместимости естественного и искусственного интеллекта<sup>41</sup>.

Преодоление этого препятствия зависит от прогресса в понимании законов человеческого интеллекта, разработки инструментов для передачи информации от человека к машине и наоборот, а также создания гибридных интеллектуальных экосистем, которые позволят легко интегрировать новые продукты<sup>42</sup>.

41 На основе интервью с К.В. Кринкин (СПбГЭТУ "ЛЭТИ") // Фонд КСО "Северо-Запад", 2021.

42 Козволюционный гибридный интеллект (препринт) / К. Krinkin, Y. Shichkina, A. Ignatyev // arXiv, 2021. - URL: [arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2112/2112.04751.pdf](https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2112/2112.04751.pdf).

43 По материалам интервью с А. В. Бухановским (ИТМО) // Фонд "Северо-Запад", 2021.

### 3 Генеративный искусственный интеллект

Системы генеративного ИИ потенциально могут позволить автоматически создавать новые системы искусственного интеллекта, а также различный творческий контент. Ключевыми направлениями в генеративном ИИ являются формализация неопределенностей, связанных с вычислением вероятности реакции на генерируемый контент, и проблемы обхода пространства поиска - новые алгоритмы оптимизации для генерации контента<sup>43</sup>.

### 4 Обучение с применением подкрепления

Современные методы обучения с подкреплением находятся в тупике, поскольку их применение для решения реальных задач сталкивается с проблемой необходимости большого количества безошибочных итераций, что требует длительного обучения. Границами развития станет повышение устойчивости методов обучения с подкреплением к ошибкам и аномалиям в данных<sup>23</sup>.

## 5 | Объяснимый искусственный интеллект

Решения, которые принимают почти все модели ИИ, не поддаются объяснению и интерпретации. В то же время для многих приложений крайне важно понимать, что именно делает то или иное решение<sup>23</sup>. Перед нами стоит задача не только разработать методы объяснения решений ИИ, но и оценить и проверить работоспособность и пригодность этих методов для решения задач реального мира<sup>44</sup>.

44 Дас А. Возможности и проблемы в объяснимом искусственном интеллекте (ХАИ): Обзор / А. Дас, П. Рад // arXiv, 2020. - URL: [arxiv.org/pdf/2006.11371.pdf](https://arxiv.org/pdf/2006.11371.pdf).

## 6 Искусственный интеллект Исправление ошибок

Искусственный интеллект, управляемый данными, может совершать ошибки, которые трудно отследить. Чем выше размерность модели искусственного интеллекта, тем выше риск ошибок и тем ниже ее пригодность для принятия рискованных решений<sup>45</sup>. В архитектуре моделей искусственного интеллекта должны появиться отдельные системы, которые будут отслеживать и исправлять ошибки и "переучивать" модели ИИ<sup>45,39</sup>.

45 По материалам интервью с А. Н. Горбань (Университет Лестера, Великобритания) // Фонд КСО "Северо-Запад", 2021.

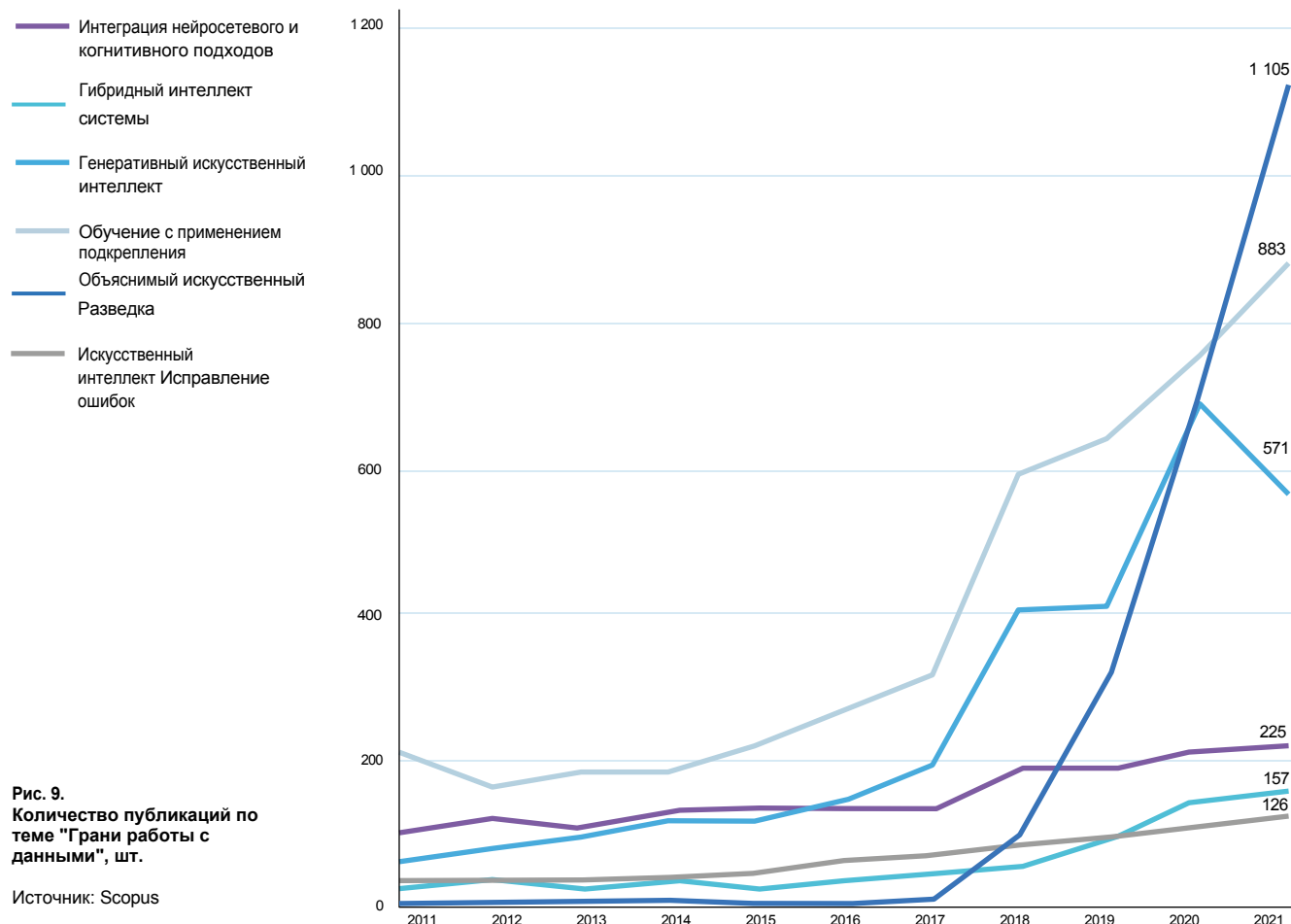


Рис. 9.  
Количество публикаций по  
теме "Грани работы с  
данными", шт.

Источник: Scopus

# 2.2

## ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АИ

Нейроморфные чипы решают широкий спектр задач: применение компьютерного зрения, распознавание голоса и жестов, поиск и оптимизация (локальный поиск).

К началу 2020-х годов человечество приблизится к порогу закона Мура\*. Ожидается, что в первой половине десятилетия лидеры полупроводниковой индустрии выпустят чипы с размерами процессоров 3-4 нм и менее. Пока это остается границей развития полупроводниковой индустрии, но уже сейчас ясно, что этот уровень будет достигнут.

Такой уровень размерности открывает новые вычислительные возможности для ИТ-индустрии. Системы искусственного интеллекта становятся все более производительными. При этом темпы их развития схожи с ростом размеров чипов. По словам программиста Google Клиффа Янга, количество внутренних проектов, ориентированных на ИИ в Google, удваивается каждые 18 месяцев<sup>46</sup>, что соответствует скорости роста числа транзисторов, размещаемых на чипе интегральной схемы, - 18-24 месяца (закон Мура).

В то же время в обсуждении вычислительных перспектив систем ИИ активно используется другой эмпирический закон, названный в честь Дженсена Хуанга, генерального директора NVIDIA. Согласно закону Хуанга, графические процессоры (GPU) развиваются гораздо быстрее центральных процессоров (CPU), а производительность кремниевых чипов, обеспечивающих работу искусственного интеллекта, увеличивается более чем в два раза каждые два года<sup>47</sup>. По сравнению с законом Мура, который фокусируется исключительно на транзисторах CPU, закон Хуанга охватывает все достижения в области архитектуры, межсоединений, технологий памяти и алгоритмов.

Дискуссии об аппаратных средствах ИИ (в том числе о законе Хуанга) в последние два года повысили интенсивность поиска рубежа развития кремниевой электроники. Найдет ли микроэлектроника альтернативу кремниевой платформе или выйдет на новые технологические решения для поддержания роста производительности при нужном уровне энергоэффективности вычислительных систем (в том числе для ИИ) - вот главный научный рубеж развития аппаратного обеспечения на ближайшие 15 лет. Именно искусственный интеллект стимулирует спрос на более высокопроизводительные вычислительные системы. Наблюдение за направлением развития искусственного интеллекта является ключом к пониманию тенденций развития вычислительных систем в целом.

### Новое поколение самообучающихся нейроморфных процессоров

Важнейшим направлением развития аппаратных средств для систем искусственного интеллекта является поиск новых вычислительных архитектур. Одним из центральных направлений этого развития является создание нейроморфных процессоров, которые позволят проводить биоподобные нейроморфные вычисления с повышенной эффективностью.

В 2017 году компания Intel разработала нейроморфный цифровой процессор Loihi с возможностью обучения на кристалле. Loihi работает по тем же принципам, что и человеческий мозг, и содержит 130 тысяч искусственных нейронов и 130 миллионов синапсов<sup>48</sup>, а обучение происходит с помощью различных типов обратной связи.

В 2021 году был представлен процессор второго поколения (Loihi 2) и среда программирования Lava с открытым исходным кодом для создания приложений для нейроморфных процессоров, что позволило значительно увеличить скорость и энергоэффективность ИИ. Усовершенствования архитектуры Loihi 2 позволяют создавать новые классы нейроморфных алгоритмов и приложений, обеспечивая до 10-кратного повышения скорости обработки<sup>49</sup>.

\* Закон Мура - эмпирическое наблюдение, первоначально сделанное Гордоном Муром, согласно которому (в современной формулировке) количество транзисторов, размещенных на чипе интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца (источник: Толковый англо-русский словарь по нанотехнологиям. - М., В. В. Арсланов, 2009).

- 46 Рэй Т. В Google говорят, что "экспоненциальный" рост ИИ меняет природу вычислений /. Т. Ray // ZDNet, 2018. - URL: [zdnet.com/article/google-says-exponential-growth-of-ai-is-changing-nature-of-compute](https://zdnet.com/article/google-says-exponential-growth-of-ai-is-changing-nature-of-compute).
- 47 Мимс С. Закон Хуанга - это новый закон Мура, и он объясняет, почему Nvidia хочет Arm / С. Мимс // The Wall Street Journal [сайт], 2020. - URL: [wsj.com/articles/ huangs-law-is-the-new-moores-law-and-explains-why-nvidia-wants-arm-11600488001](https://wsj.com/articles/ huangs-law-is-the-new-moores-law-and-explains-why-nvidia-wants-arm-11600488001).
- 48 Intel Loihi // TAdviser, 2022. - URL: [tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82: Intel\\_Loihi\\_\(%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%84%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80\). \(на русском языке\)](https://tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82: Intel_Loihi_(%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%84%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80). (на русском языке)).
- 49 Представлены нейроморфный процессор Intel Loihi 2 и среда программирования Lava // Аспект исследований и публикаций, 2021. - URL: [ixbt.com/news/2021/09/30/intel-loihi-2-lava.html](https://ixbt.com/news/2021/09/30/intel-loihi-2-lava.html). (на русском языке)



Intel уже создала роботизированные руки, нейроморфную искусственную кожу и алгоритм распознавания запахов на основе чипа Loihi.

Полностью аналоговый "мозг-на-чипе", разработанный в Массачусетском технологическом институте, стал важным шагом на пути к появлению портативных маломощных нейроморфных чипов для распознавания образов и других задач обучения. Изобретатели утверждают: такая конструкция искусственных синапсов позволит создать гораздо более компактные портативные устройства с искусственным интеллектом, способные выполнять сложные вычисления, которые в настоящее время доступны только большим суперкомпьютерам<sup>50</sup>.

Исследования в области нейроморфных вычислений и процессоров ведутся и в России. Это направление разрабатывают команды из МФТИ, Сколтеха, ЭТУ "ЛЭТИ" и других университетов и научных центров.

50 Chu J. Engineers design artificial synapse for "brain-on-a-chip" hardware / J. Chu // MIT, 2018. - URL: [news.mit.edu/2018/engineers-design-artificial-synapse-brain-on-a-chip-hardware-0122](https://news.mit.edu/2018/engineers-design-artificial-synapse-brain-on-a-chip-hardware-0122).

## Квантовые процессоры

На квантовые вычисления возлагаются большие надежды: они помогут преодолеть вычислительные барьеры, связанные с окончанием действия закона Мура. Управление вычислениями на уровне кубитов может открыть новые возможности для ИИ за пределами двоичной системы: уменьшить ошибки и повысить точность вычислений, а также улучшить обработку данных.

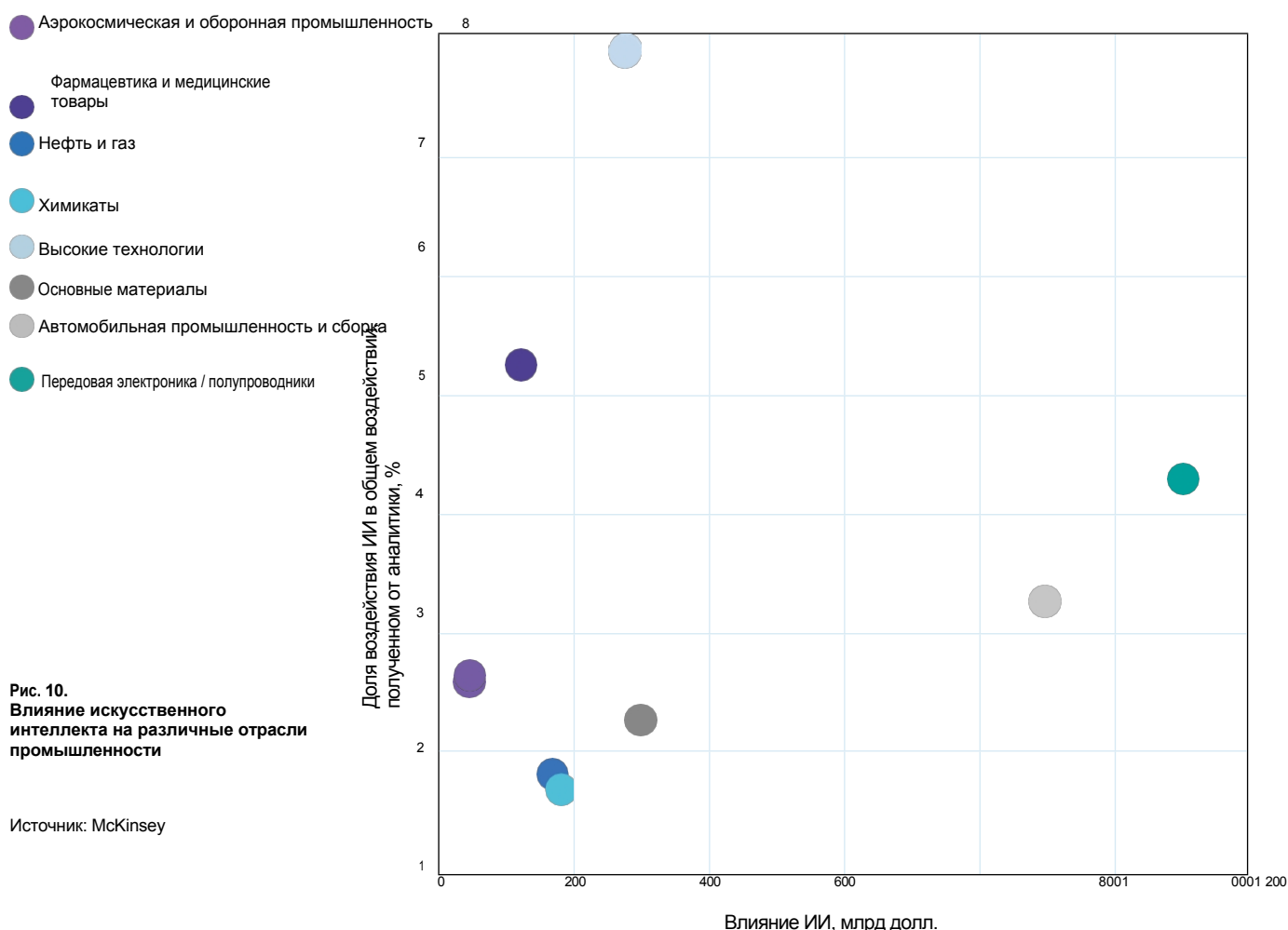
В 2020 году IBM выпустила 27-битный квантовый компьютер. К 2023 году компания планирует в четыре раза увеличить мощность своих квантовых компьютеров<sup>51</sup>. Еще в 2019 году корпорация Google объявила о создании первого в мире 54-кубитного процессора. Компьютер на его основе выполнял специфические вычисления, на которые у обычного ПК ушли бы тысячи или даже десятки тысяч лет. Разработчики компании QuantWare, целью которой является производство доступных квантовых процессоров и связанных с ними систем, считают, что после 2025 года<sup>51</sup>, а может быть, и раньше, квантовые технологии будут распространяться гораздо активнее, чем сейчас, и их можно будет использовать в большом количестве отраслей.

51 Квантовые процессоры поступают в продажу: на что они способны и для чего предназначены? // Селектел, 2021.  
– URL: [nanonewsnet.ru/news/2021/kvantovye-protsessory-postupayut-v-prodazhu-cto-oni-mogut-dlya-chego-sozdany](https://nanonewsnet.ru/news/2021/kvantovye-protsessory-postupayut-v-prodazhu-cto-oni-mogut-dlya-chego-sozdany) (in Russian)

## 2.3 КАК АЙ ИЗМЕНИТ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Как отмечалось выше, одной из ключевых областей, где ожидается быстрое развитие ИИ, является промышленность. По оценкам McKinsey, искусственный интеллект может приносить около 3 триллионов долларов в год в восьми отраслях (Рисунок 10)<sup>52</sup>. В абсолютных значениях наибольшая прибыль ожидается в автомобильной промышленности и передовой электронике. Максимальный эффект по отношению к выручке прогнозируется в секторе высоких технологий.

<sup>52</sup> Заметки с передовой ИИ: выводы из сотен примеров использования / М. Чуи, Дж. Маньика, М. Miremadi [et al.] // McKinsey, 2018. - URL: [mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-applications-and-value-of-deep-learning](https://mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-applications-and-value-of-deep-learning).



IoT Analytics в своем отчете о рынке промышленного ИИ в 2020-2025 годах выделяет 33 направления применения ИИ на предприятиях с использованием Интернета вещей<sup>53</sup>. Для России наиболее значимым вызовом является развитие систем инженерного моделирования, принятия решений и производственных систем с использованием технологий ИИ. Именно развитие этих направлений может стать приоритетным для программ поддержки реинжиниринга в условиях долгосрочных санкционных ограничений и разрушения цепочки поставок.

<sup>53</sup> Рыков М. Топ-10 промышленных AI use cases / М. Рыков // IoT Analytics, 2019 г. - URL: [iot-analytics.com/the-top-10-industrial-ai-use-cases](https://iot-analytics.com/the-top-10-industrial-ai-use-cases).

## И н ж е н е р и я , управляемая искусственным интеллектом

До сих пор приложения ИИ были сосредоточены на интеллектуальном производстве (повышение эффективности и сокращение отходов), генеративном проектировании и автоматизированных сборочных роботах. Типичная автоматизация не решает проблемы индивидуальных заказов небольших партий (Batch Size 1 или Order of One). На смену автоматизации должна прийти автономность, когда роботы не перепрограммируются человеком на производство нового продукта, а учатся самостоятельно собирать тот или иной вариант. Компания Siemens Corporate Technology разработала такого робота, который может анализировать модель изделия из САПР и находить подходящее решение для сборки. LG CNS, используя облачный сервис "умной фабрики", собирает данные на протяжении всего производственного процесса и может предсказать возможные дефекты в партии еще до ее выпуска<sup>54</sup>.

Одной из важных задач здесь является использование ИИ в аддитивном производстве (AM). Основные проблемы AM заключаются в том, как головка 3D-принтера повлияет на микроструктуру получаемого материала и как контролировать процесс AM для получения деталей с требуемыми характеристиками. Решение заключается в использовании суррогатной модели\*, которая выполняет предварительную оптимизацию, контроль процесса на месте в реальном времени благодаря ИИ в датчиках, переносимость модели ИИ между различными устройствами и/или типами сырья (гетерогенные материалы для AM)<sup>54</sup>.

В целом, программируемые датчики и периферийные вычисления на основе ИИ имеют первостепенное значение для совершенствования моделей ИИ для будущего цифрового и индивидуального производства<sup>54</sup>.

Перечислим исследовательские задачи для инженерных разработок, управляемых ИИ<sup>55</sup>:

**5** Создание интерактивного DSE \*\* в помощь специалистам, которые занимаются дизайном, но не имеют технической компетенции для разработки моделей.

**2** Определение характеристик пространства проектных решений, когда можно быстро сделать вывод о том, какая часть проектного решения является хорошей или плохой или обладает определенными свойствами.

**3** Автоматическая генерация ограничений/правил проектного решения: правила и ограничения обеспечивают соответствие логических и физических аспектов решения требованиям проекта.

**4** Автоматическая постановка задачи: задаются требования и информация о прошлом, и система должна автоматически сформулировать целевую функцию, учитывая ее ограничения.

<sup>54</sup> Вуннер Ф. Как генеративный дизайн, управляемый искусственным интеллектом, нарушает традиционные цепочки создания стоимости /. Ф. Вуннер, Т. Крюгер, Б. Гирзе // Accenture, 2020. -URL: [accenture.com/us-en/blogs/industry-digitization/how-ai-driven-generative-design-disrupts-traditional-value-chains](https://accenture.com/us-en/blogs/industry-digitization/how-ai-driven-generative-design-disrupts-traditional-value-chains).

<sup>55</sup> Из выступления Санджива Сриваставы на семинаре "AI Driven Design Approach" // YouTube-канал Machine Learning Center at Georgia Tech, 2020. - URL: [youtube.com/watch?v=eitWsEM2ljk](https://youtube.com/watch?v=eitWsEM2ljk).

\* Суррогатная модель - это упрощенная модель, имитирующая поведение объекта или системы.

\*\* Исследование проектного пространства (Design Space Exploration, DSE) - это процесс поиска проектного решения или решений, которые наилучшим образом удовлетворяют желаемым проектным требованиям, через пространство предварительных проектных точек.

Автоматическое создание суррогатных моделей: автоматизация этого процесса избавит от необходимости владеть специальными инструментами ML.

Параметрическое отображение в различных масштабах: возможность автоматически изменять параметры сложных систем разного масштаба с привязкой.

6

Автоматический сбор данных из технического задания (ТЗ): сложный процесс, требующий не только НЛП, но и изучения взаимосвязи между различными частями самого ТЗ и функциями, описанными в документе

7

Понимание изменений во времени с помощью контроля версий: поскольку сложные проекты имеют множество версий, возникает проблема анализа сущностей и связей между объектами в проекте не только в статике, но и в динамике.

8

Переносимость решений на другие проекты/платформы: "эта задача обычно проще в теории, чем на практике".

9

Проблема выбора алгоритма: выбор алгоритма должен быть оправдан поставленной задачей.

10

## Производство, ориентированное на искусственный интеллект

Системы, ориентированные на ИИ, включают в себя крупномасштабный мониторинг, распределенные системы управления, передовые системы связи и различные уровни искусственного интеллекта на периферии<sup>54</sup>.

Интернет вещей и искусственный интеллект - это две отдельные инновации, которые в сочетании друг с другом оказывают значительное влияние на различные отрасли. Если Интернет вещей (IoT) - это система датчиков, то искусственный интеллект выступает в роли мозга, управляющего этой системой. ИИ в датчиках Интернета вещей обнаруживает ошибки при сборе данных, самостоятельно выявляет закономерности, выстраивает логические цепочки и делает выводы<sup>56</sup>.

Чтобы сам ИИ мог напрямую и эффективно работать с данными от IoT-датчиков, целесообразно использовать априорные знания о предметной области, сконцентрированные в цифровом двойнике. Цифровой двойник - это программный аналог физического устройства, имитирующий внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта в условиях помех и окружающей среды<sup>57</sup>. Он используется для планирования, моделирования спроса, управления, оптимизации, повышения эффективности.

ИИ вместе с цифровыми двойниками фиксирует все, что происходит на производстве, и с помощью анализа данных помогает операторам принимать более эффективные операционные решения. Сочетание этих технологий позволяет предсказать возможные поломки оборудования и определить их причину, предложить варианты поддержания оборудования в рабочем состоянии, минимизировать время простоя<sup>58</sup>.

Использование ИИ в производстве не ограничивается выпуском конкретных изделий. Искусственный интеллект может собирать и анализировать данные о предприятии в целом, интегрируя данные из отдельных подсистем<sup>59</sup>.

ИИ рассматривается как важнейший элемент, который обеспечит следующий шаг в эволюции производственных систем. Если в 2010-х годах наблюдалась цифровизация, в том числе распространение IoT-платформ, то в 2020-х годах ИИ станет главным инструментом развития. Он позволит перейти от традиционного крупносерийного производства к гибким производственным системам, способным обеспечить экономически эффективный выпуск небольших серий продукции<sup>60</sup>.

ИИ станет основным элементом архитектуры современных систем индивидуального производства. Это подразумевает наличие как минимум четырех основных элементов: интеллектуальных устройств, интеллектуальных взаимосвязей, слоя ИИ и интеллектуальных сервисов. Преимуществами таких систем станут повышение эффективности производства, упрощение профилактического обслуживания, расширение интеллектуальных цепочек поставок<sup>60</sup>.

56 Перспективы IoT и ИИ: эксперты обсуждают этические дилеммы // Connect-wit, 2020. - URL: [connect-wit.ru/perspektivy-iot-i-ai-ekspertry-obsudili-eticheskie-dilemmy.html](http://connect-wit.ru/perspektivy-iot-i-ai-ekspertry-obsudili-eticheskie-dilemmy.html). (in Russian).

57 Системы автоматизации и интеграция - Рамки цифрового двойника для производства - Часть 1: Обзор и общие принципы // ISO, 2021. - URL: [iso.org/ru/standard/75066.html](http://iso.org/ru/standard/75066.html).

58 Бек Р. Цифровые двойники и искусственный интеллект: трансформация промышленных операций / Р. Бек // AspenTech. - URL: [reliableplant.com/Read/31897/digital-twins-ai](http://reliableplant.com/Read/31897/digital-twins-ai).

59 Прахладрао С. Будущее производства будет управляться искусственным интеллектом / С. Прахладрао S. Prahladrao // ARC Advisory Group. - URL: [arcweb.com/industry-best-practices/future-manufacturing-be-ai-driven](http://arcweb.com/industry-best-practices/future-manufacturing-be-ai-driven).

60 Фабрика индивидуального производства на основе искусственного интеллекта: Ключевые технологии, приложения и вызовы / J. Wan, X. Li, H. Dai [et al.] // arXiv, 2020. - URL: [arxiv.org/pdf/2108.03383.pdf](https://arxiv.org/pdf/2108.03383.pdf).

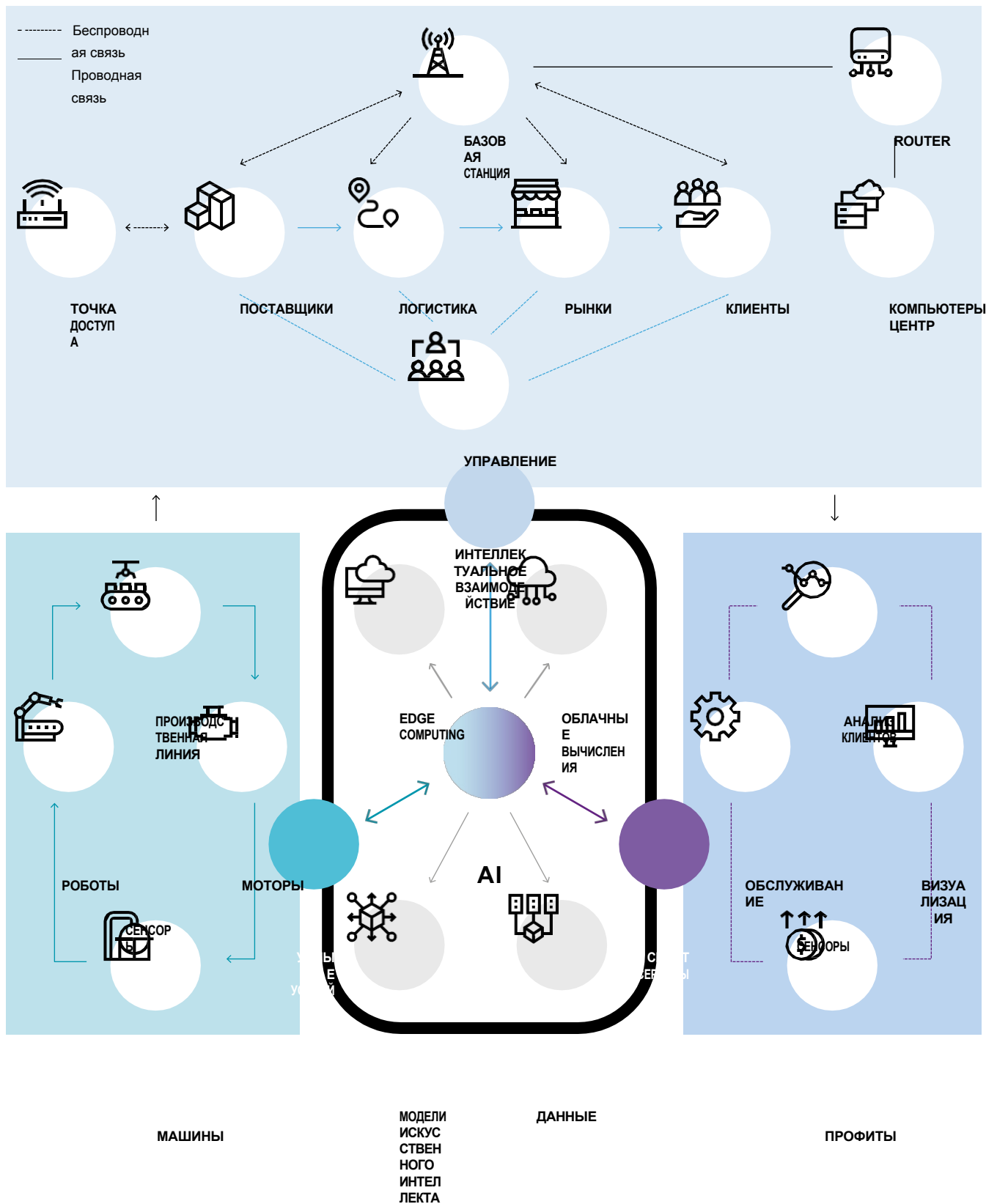


Рис. 11.  
 Архитектура индивидуального  
 производства на основе  
 искусственного интеллекта

Источник: IEEE<sup>60</sup>

## Промышленная метавселенная

Ключевым преимуществом метавселенной является способность обеспечить целостное погружение в виртуальную среду благодаря повсеместному и постоянному подключению. Промышленный метамир может содержать цифровые двойники реальных объектов, 3D-модели на основе данных IoT, а также интерактивные платформы для управления и анализа данных.

Варианты использования промышленной метаверсии<sup>61</sup>.

- Повышайте узнаваемость бренда с помощью виртуальных экскурсий по заводу и интерактивных виртуальных мероприятий;
- виртуальные презентации продуктов и услуг;
- платежи с использованием технологий блокчейн, криптовалют и NFT;
- совместные исследования и разработки для проектирования, моделирования и тестирования продуктов и услуг;
- Получение обратной связи от цифровых клиентов для улучшения клиентского опыта в реальном мире;
- промышленная метаверсия как основа для достижения компаниями углеродного баланса.

Компания BMW создала виртуального 3D-двойника завода в Регенсбурге, чтобы сотрудники со всего мира могли работать вместе в режиме реального времени. Компания AB InBev разработала комплексную цифровую модель своих пивоваренных заводов и цепочек поставок. В настоящее время AB InBev экспериментирует с "цифровыми людьми", чтобы смоделировать реакцию реальных сотрудников на новые рабочие процессы.

Адаптация новых технологий потребует от компаний не только приобретения нового оборудования, но и преодоления "цифрового ментального разрыва" - принятия влияния со стороны виртуальной среды: участников экосистемы и потенциальных клиентов.

61 Буриан Дж. Является ли "промышленная метаверсия" следующей большой вещью? / Дж. Буриан // Industry Week, 2022 г. - URL: [industryweek.com/technology-and-iiot/emerging-technologies/article/21234184/is-the-industrial-metaverse-the-following-big-thing](https://industryweek.com/technology-and-iiot/emerging-technologies/article/21234184/is-the-industrial-metaverse-the-following-big-thing).

62 Би З. М. Механизмы обеспечения безопасности совместных роботизированных систем в производстве / З. М. Би, С. Luo, Z. Miao [et al.] // ScienceDirect, 2021. - URL: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584520302337](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584520302337).

63 Малик А. А. Цифровые двойники для совместной работы роботов: Тематическое исследование взаимодействия человека и робота / А. А. Малик, A. Brem // ScienceDirect, 2021. - URL: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584520303021](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584520303021).

64 Сотрудничество человека и робота: 3 Case Studies // Wevolver, 2020. - URL: [wevolver.com/article/humanrobot-collaboration.3.case.studies](https://wevolver.com/article/humanrobot-collaboration.3.case.studies).

## Человеко-машинное взаимодействие (ЧМВ)

Коллаборативные роботы (коботы) - один из обязательных компонентов Индустрии 5.0, концепции, основанной на взаимодействии человека и робота. Коботы не причиняют вреда ни людям, ни окружающим предметам благодаря многочисленным датчикам, которые отслеживают любое движение вокруг них<sup>62</sup>. Оснащение предприятия коботами дает значительное конкурентное преимущество владельцам бизнеса, в том числе работающим с "малыми партиями" и "под заказ". Использование цифровых двойников в человеко-машинных системах упростит проектирование, интеграцию, эксплуатацию и реконфигурацию системы на протяжении всего ее жизненного цикла<sup>63</sup>.

Автопроизводители Dürr Systems AG и Ford используют коллаборативные роботы LBR iiwa компании KUKA на трудоемком и травмоопасном этапе установки фар и системы помощи водителю. Коботы также смогли повысить качество и скорость сборки, что позволило снизить стоимость автомобиля<sup>64</sup>.

## Методы искусственного интеллекта в промышленности

Традиционные аналитические методы, такие как регрессионный анализ, кластеризация, ансамбль деревьев решений и другие формы логического умозаключения, активно используются в различных отраслях (рис. 12). ИИ имеет большой потенциал для применения в различных отраслях, но пока не получил широкого распространения, в том числе из-за относительной незрелости технологии и организационных проблем, связанных с внедрением этих технологий<sup>52</sup>.









Промышленность	Укрепление I заработка	Нейронная сеть с обучением	Рекуррентные нейронные сети	Конволюционная нейронная сеть	0	Сети Ансамблевое обучение на основе деревьев	Уменьшение размерности	Классификаторы	Кластеризация	Регрессионный анализ	Статистические методы	Методы Монте-Карло	0	Другие методы оптимизации
 Аэрокосмическая промышленность и оборона	2	2	2	1	0	3	1	2	2	4	3	2	0	2
 Фармацевтика и медицинские товары	1	3	3	1	1	4	1	4	4	5	3	2	0	1
 Нефть и газ	2	3	1	2	0	4	1	2	1	4	3	2	1	1
 Химикаты	1	2	2	1	0	3	1	2	2	3	3	2	0	1
 Высокие технологии	2	3	3	1	0	4	1	4	2	4	1	0	0	1
 Основные материалы	2	3	1	2	0	4	0	3	1	4	4	2	0	2
 Автомобильная промышленность и сборка	2	4	2	3	0	5	1	4	3	5	3	1	1	1
 Передовая электроника / полупроводники	2	3	2	2	0	5	1	4	3	6	3	1	0	2

Рис. 12.  
Актуальность технологий ИИ для различных отраслей (где 1 - низкая актуальность, 6 - высокая актуальность)

Источник: McKinsey



## ИИ изменит космическую отрасль

Следующий этап освоения космоса предполагает использование технологий Индустрии 5.0. Исследователи выделяют две технологические основы для развития Индустрии 5.0<sup>65</sup> :

1. человеко-машинное взаимодействие: интеллектуальная автоматизация, умные фабрики;
2. биоэкономика: био- и нанотехнологии, биологизация.

Концептуальные технологии Индустрии 5.0<sup>66</sup> :

- человеко-машинное взаимодействие откроет возможность объединения возможностей людей и роботов во время пилотируемых миссий, а также реализации технологии телеприсутствия человека в космосе (робот-аватар);
- биотехнологии и "умные" материалы: самовосстанавливающиеся материалы для оболочек космических кораблей и скафандров, легкие материалы, позволяющие доставлять более тяжелые грузы в дальний космос, "умные" материалы для контроля температуры;
- Цифровые двойники и симуляции для создания сотен (или тысяч) возможных сценариев космических полетов, учитывающих множество факторов, влияющих на процесс осуществления деятельности в космосе;
- Искусственный интеллект, способный принимать самостоятельные решения и адаптироваться к новым условиям, повысит эффективность автоматических миссий (автономность планетоидов для работы под землей или в пещерах, координация спутниковых группировок между собой, предварительная обработка данных);
- Большие данные и мягкие вычисления позволят прогнозировать приближение космического мусора и других объектов к космическому аппарату, что поможет избежать эффекта Кesslera\*, когда количество объектов на орбите увеличивается<sup>67</sup>.

\* Синдром Кesslera - гипотетическое развитие событий на околоземной орбите, когда космический мусор, образующийся в результате многочисленных запусков искусственных спутников, делает ближний космос совершенно непригодным для практических целей (источник: Kessler D. J. Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt / D. Дж. Кessler, Б. Г. Кур-Пале // Журнал геофизических исследований. - 1978. - № 83- А6. - 2637-2646 p.).

65 Демир К. А. Индустрия 5.0 и совместная работа человека и робота / К. А. Демир, Г. Девен, Б. Сезен // ScienceDirect, 2019. - URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919312748.

66 Мюллер Й. Включающие технологии для Индустрии 5.0. / Дж. Мюллер // Еврокомиссия, 2020. - URL: op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8e5de100-2a1c-11eb-9d7e-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-248960047.

67 Прогнозирование орбиты спутника с использованием больших данных и мягких технологий Вычислительные методы для предотвращения космических столкновений / К. Пуэнте, М. А. Sáenz-Nuño, А. Villa-Monte, J. А. Olivas // MDPI, 2021. - URL: mdpi.com/2227-7390/9/17/2040/htm.

# ЧАСТЬ 3

РОССИИ НУЖЕН РЕИНЖИНИРИНГ.  
РЕИНЖИНИРИНГ НУЖДАЕТСЯ В  
ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ

В связи с сокращением импорта аппаратного обеспечения для искусственного интеллекта существует угроза разрыва производственных цепочек. Решением этой проблемы станет запуск программ реинжиниринга (обратного проектирования) аппаратного и программного обеспечения.

Реверс-инжиниринг - это изучение какого-либо устройства или программы и документации к ним с целью понять, как оно работает, и (чаще всего) воспроизвести устройство, программу или другой объект с аналогичными функциями, но без копирования как такового<sup>68</sup>.

Развитие технологий искусственного интеллекта открыло новые возможности для реверс-инжиниринга. Новости о применении систем реверс-инжиниринга стали регулярной частью информационного фона в области ИИ. В июне 2020 года произошло яркое событие: DeepMind представила систему ИИ с возможностями реинжиниринга программного обеспечения. Имея доступ только к входам и выходам выбранного приложения, система, получившая название IReEn, может многократно улучшать копию целевого приложения, пока оно не станет функционально эквивалентным оригиналу<sup>69</sup>. Подобные примеры показывают, что искусственный интеллект создал новые возможности на рынке высоких технологий для игроков с ограничениями на использование оригинальных продуктов и тех, кому необходимо восстановить решения, описания которых частично утрачены.

В то же время реинжиниринговые технологии создают новые риски для рынка и общества в целом. Потребуется не только пересмотр законодательства об интеллектуальной собственности: разработка подобных решений может полностью изменить отношение и взгляд общества на копирование как на явление<sup>70</sup>.

Еще одно полезное качество ИИ в задачах реинжиниринга материальных объектов - способность существенно упростить требования к оборудованию, необходимому для полного определения их характеристик. Это достигается путем создания неполных цифровых двойников объекта на основе базовых фактов, которые легко измерить с помощью имеющегося оборудования (в частности, массо-габаритные характеристики). Остальные элементы двойника (например, в виде уравнений с определенными коэффициентами, отражающими нетривиальные свойства продукта) реконструируются с помощью технологий автоматического машинного обучения на основе косвенных экспериментальных данных. При этом в некоторых случаях могут быть восстановлены не только скрытые свойства объекта, но и элементы технологии его создания.

## Оборудование

Санкции особенно сильно сказались на поставках узкоспециализированных микросхем, поэтому реинжиниринг технологий создания полупроводниковых продуктов становится одним из важнейших условий развития российского рынка ИИ. Отсутствие решений здесь может привести к тому, что предсказания об очередной "зиме ИИ" сбудутся в первую очередь для отечественного, а не глобального рынка. Задачи реинжиниринга охватывают не только области разработки и производства чипов, но и их ключевого звена - полупроводников. Искусственный интеллект может стать полезной технологией для реинжиниринга и импортозамещения только тогда, когда он сам будет обеспечен отечественной полупроводниковой продукцией.

В нашей стране есть свои проекты универсальных (CPU, DSP, GPU) и узкоспециализированных (FPGA, ASIC) микропроцессоров, а также тензорных процессоров. Российские компании разрабатывают их дизайн, но производить эти микропроцессоры в России сложно из-за отсутствия оборудования, в частности литографии.

Россия сама может производить процессоры по нормам не менее 65 нм (на заводе "Микрон"), которые считались передовыми в 2004 году<sup>71</sup>. Но эффективные системы ИИ требуют решений на микропроцессорах 16 нм и ниже. TSMC уже может производить чипы с топологией 5 нм<sup>72</sup>, и планирует выйти на 3 нм<sup>72</sup>.

68 Самуэльсон П., Скотчмер С. Право и экономика реверс-инжиниринга / П. Самуэльсон, С. Скотчмер // Йельский юридический журнал. - 2002. - № 111-7. - 1575-1663 p.

69 Виггерс К. Исследователи предлагают систему искусственного интеллекта для реверс-инжиниринга приложений "черного ящика" / К. Виггерс // VentureBeat, 2020. - URL: [venturebeat.com/2020/06/23/researchers-propose-ai-that-reverse-engineers-black-box-apps](https://venturebeat.com/2020/06/23/researchers-propose-ai-that-reverse-engineers-black-box-apps).

70 Шенкар О. Имитаторы. Как компании заимствуют и перерабатывают чужие идеи / О. Шенкар. - Москва: Альбина Паблишер, 2011.

71 Степанов Д. Оборудование для печатных процессоров по технологии 17- л е т н е й давности создадут в России за 5,7 млрд / Д. Степанов // CNews, 2021. - URL: [cnews.ru/news/top/2021-11-22\\_v\\_rossii\\_zh\\_57\\_milliarda\\_rublej\\_\(in-Russian\)](https://cnews.ru/news/top/2021-11-22_v_rossii_zh_57_milliarda_rublej_(in-Russian))

72 Механик А. Литография без маски / А. Механик // Стимул, 2019. - URL: [stimul.online/articles/innovatsii/litografiya-bez-maski\\_\(in-Russian\)](https://stimul.online/articles/innovatsii/litografiya-bez-maski_(in-Russian))

Сегодня только одна компания, голландская ASML, выпускает оборудование для производства процессоров 7 нм и меньше. Для достижения разрешения до 10 нм технология (EUV-литография) гораздо сложнее и дороже, чем для чипов с топологией свыше 10 нм<sup>72</sup>.

В России созданы оптическая система и ее элементы для установок фотолитографии на 13,5 нм (ИПМ РАН), источник излучения (ИСАН РАН), системы сверхточного позиционирования фотолитографов (лаборатория "Амфора"). Однако для технологии EUV-литографии также требуются чрезвычайно мощные лазеры и очень гладкие зеркала, что делает ее очень дорогой. Производство EUV-сканеров для фотолитографии компанией ASML окупается только при выпуске микросхем в больших количествах, которые могут быть проданы только на мировом рынке.

Но есть и другой способ. Например, безмасочная литография. Для этого требуются усилия многих команд: создателей MOEMS (микрооптических электромеханических систем), разработчиков источника излучения и координатных столов, производителей управляющей электроники, в том числе специализированного контроллера. Подобные проекты есть и в России. Например, ИПМ РАН координирует проект в области безмасочной литографии. По открытым данным, создаваемый литограф будет в 10 раз дешевле EUV-литографа, а опытный образец может быть получен через пять-шесть лет<sup>73</sup>.

В любом случае, создание собственной литографической промышленности - сложная и долгосрочная задача. Что касается краткосрочной перспективы аппаратного обеспечения, то отечественная индустрия ИИ сталкивается с большими проблемами и ограничениями для дальнейшего развития.

73 Из лекции О. А. Тельминова (НИИМЭ) на семинаре Ассоциации "ИИ в промышленности" // YouTube, 2022. - URL: [youtu.be/26vqoN-it7g?t=8842](https://youtu.be/26vqoN-it7g?t=8842). (на русском языке)

## Программное обеспечение

Поскольку Python, Lisp, R, Prolog и C++, одни из самых популярных языков программирования для ИИ, не принадлежат отдельным компаниям, нет риска прекращения их поддержки в России, чего нельзя сказать о Java и MATLAB, которые принадлежат американским компаниям.

Большая проблема - фреймворки, ведь самые популярные из них (TensorFlow, Keras, PyTorch и Caffe2) принадлежат Google и Meta Platforms. В России же есть свои Platform-GNS и PuzzleLib, а также облачная платформа IACPaaS, платформы для создания моделей ИИ SMILE и DataMall. Тем не менее, переделка существующих проектов под российские фреймворки потребует времени и усилий<sup>73</sup>.

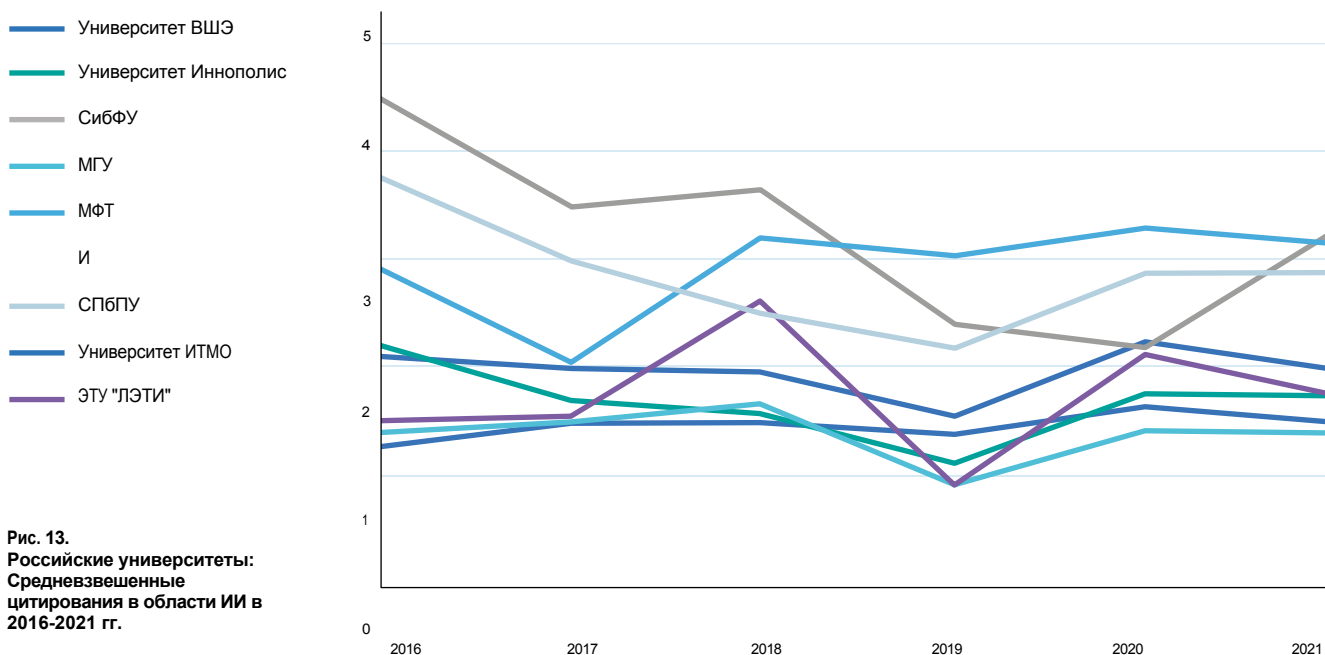
# ЧАСТЬ 4

СТ. РУКОВОДСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГА  
АМБИЦИИ НА РЫНКЕ АИ

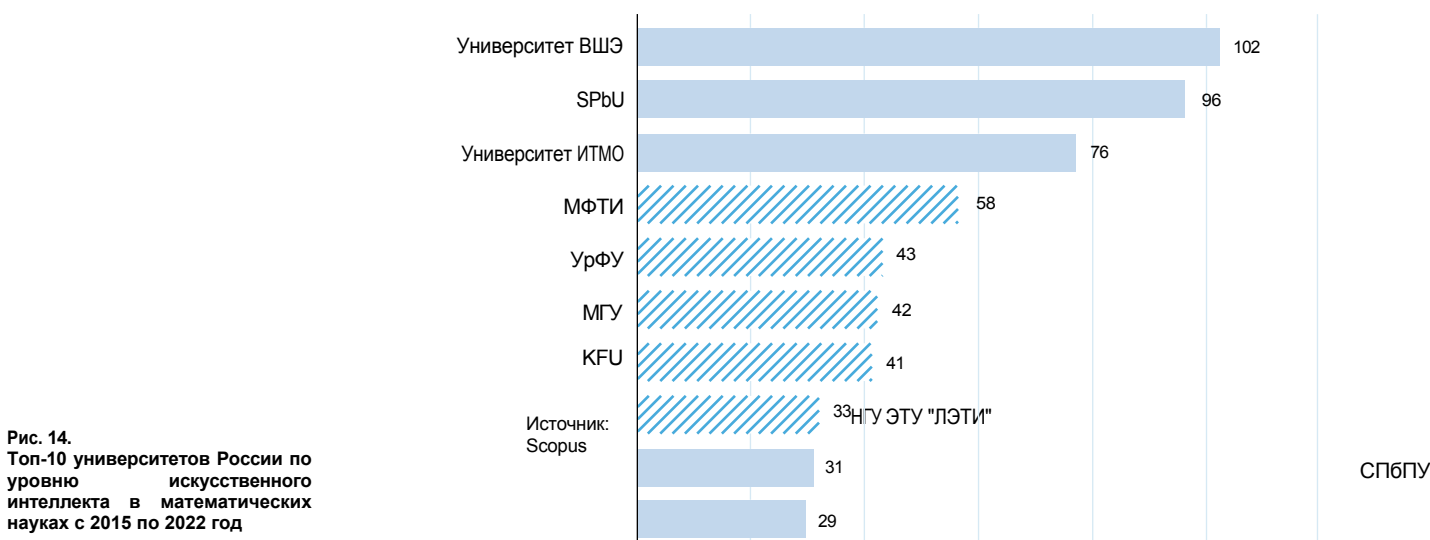
Санкт-Петербург является одним из крупнейших центров разработки и применения технологий искусственного интеллекта в Российской Федерации. За последние пять лет в Санкт-Петербурге наблюдается рост публикационной активности в области ИИ и смежных технологий. Здесь четко сформирован собственный профиль компетенций (собственные стратегические компетенции) в области ИИ, сложилась уникальная экосистема, включающая ведущие вузы и научные организации города, партнеров из реального сектора и городские власти.

Современная повестка дня в области ИИ в России, и в Санкт-Петербурге в частности, определяется сильными командами и центрами, которые будут развивать и совершенствовать существующие разработки и направления<sup>41</sup>.

Несмотря на то, что в Москве высока централизация финансовых и управленческих потоков, а количество университетов, занимающихся исследованиями в области ИИ, в Санкт-Петербурге невелико, они очень конкурентоспособны.



В Санкт-Петербурге сильна математическая школа, что отражается и на количестве публикаций по ИИ в разделе "Математические науки" (рис. 14). В целом по России, согласно базе данных Scopus, публикации на эту тему в основном относятся к математическим наукам (37,8 %), компьютерным (33,8 %) и инженерным (10,4 %).





В Петербурге есть небольшая группа исследователей ИИ, которые развивают собственные научные школы. Это одно из конкурентных преимуществ города, где генераторы новых идей работают в инженерных вузах. Среди петербургских исследовательских организаций в области ИИ можно выделить Университет ВШЭ, СПбГУ, Университет ИТМО, ЭТУ "ЛЭТИ" и СПбПУ.

Согласно рейтингу SCImago Institutions Rankings, определяющему эффективность исследований, результатов инноваций и влияния университетов на общество по их известности в интернете, лидерами являются СПбГУ, СПбПУ, Университет ВШЭ и Университет ИТМО (рис. 15). Эти же вузы лидируют среди университетов, специализирующихся на "компьютерных науках" (рис. 16).

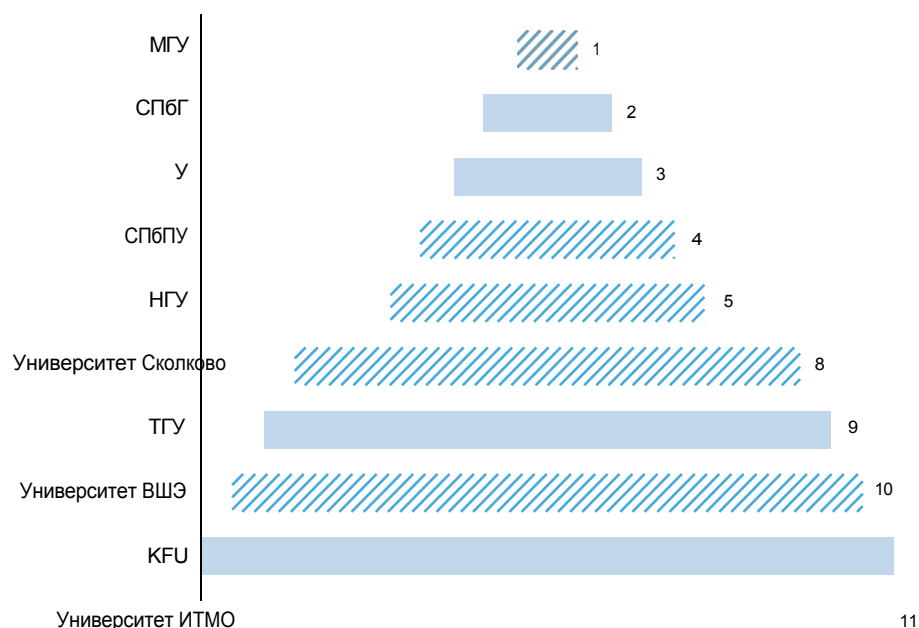


Рис. 15.  
Рейтинг университетов среди научных организаций России по разделу "Математические науки", 2021 год

Источник: SCImago

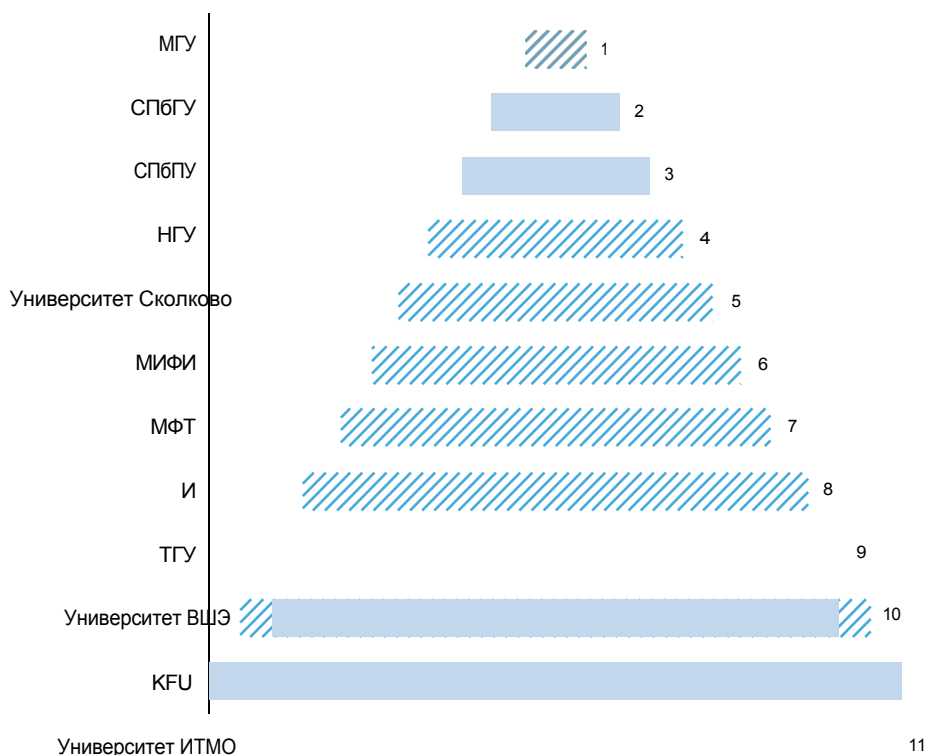


Рис. 16.  
Рейтинг университетов (топ-10) среди научных организаций России по разделу "Компьютерные науки", 2021 год

Источник: SCImago



Петербурге отмечается среди ограниченного числа исследовательских организаций. Первые места занимают университеты.

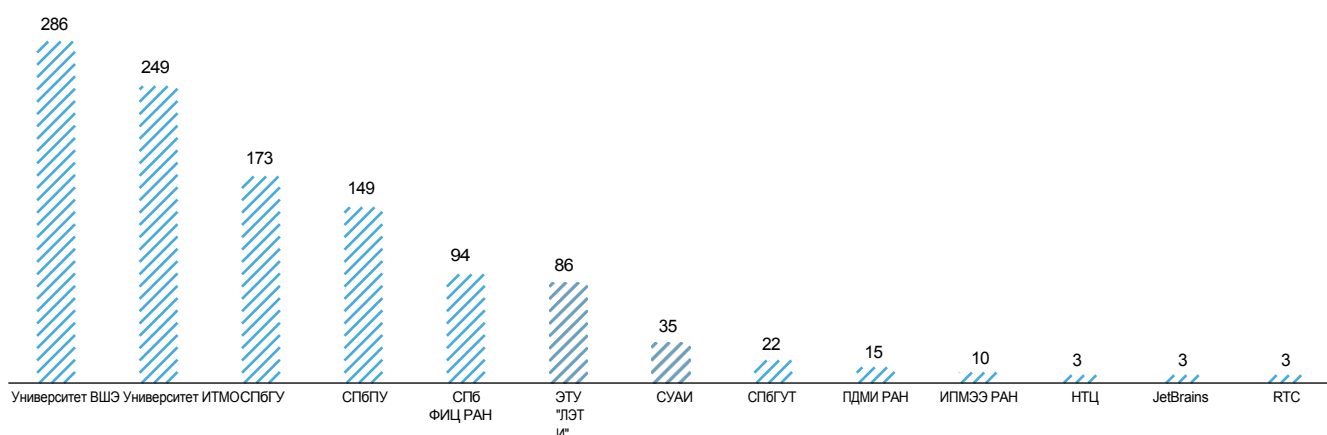


Рис. 17.  
Количество публикаций по ИИ  
среди исследовательских  
организаций Санкт-Петербурга в  
2015-2022 годах (Scopus)

Источник: Scopus

Согласно карте ИИ, в Санкт-Петербурге насчитывается 34 ИИ-компании, что в пять раз меньше, чем в столице (187 компаний). Среди крупных IT-компаний в Петербурге - "Яндекс" (как подразделение "Яндекс.Облако", "Яндекс.Самоход", "Яндекс.Толока"), а также JetBrains и "ВКонтакте".

В городе успешно работают два исследовательских центра национального уровня в области искусственного интеллекта, созданные на базе Университета ИТМО и преследующие взаимодополняющие цели. Вместе они образуют крупнейший в городе центр человеческого капитала в области исследований и разработки прикладных систем искусственного интеллекта, объединяющий более 300 специалистов.

Национальный центр когнитивных разработок (Центр компетенций НЦИ) был создан в 2018 году по сквозной технологии "Машинное обучение и когнитивные технологии". Он ориентирован на развитие технологий расширенного интеллекта в части создания отраслевых систем поддержки принятия решений в различных предметных областях и взаимодействует с промышленными партнерами на открытом рынке (включая промышленность, энергетику, ритейл, финансовый сектор, здравоохранение и т.д.).

Напротив, исследовательский центр "Сильный ИИ в промышленности", открывшийся в 2021 году в рамках федерального проекта "Искусственный интеллект", строит свою деятельность на фронтах ИИ-технологий, обеспечивая воспроизводство творческой активности отраслевых специалистов (дизайнеров, технологов и т. д.). Взаимодействие с промышленными партнерами осуществляется через институт единого заказчика - Ассоциацию "Искусственный интеллект в промышленности", которая управляет заказами отдельных партнеров и привлекаемыми ими ресурсами.

Вместе оба центра образуют устойчивую модель, обеспечивающую полный цикл создания и внедрения перспективных технологий прикладного ИИ в различные задачи (не ограничиваясь промышленностью и существующими партнерами). При этом открытая структура организации и управления центрами позволяет легитимно привлекать на коллаборативной основе коллективы исследователей и разработчиков из других университетов и научных организаций (как Санкт-Петербурга, так и России). Это дает возможность еще больше расширить присутствие Санкт-Петербурга на рынке ИИ-технологий и повысить профессиональную узнаваемость Северной столицы.

При поддержке Ассоциации "Искусственный интеллект в промышленности" организуется финансирование исследовательских проектов, осуществляется наставничество и поддержка шести молодежных исследовательских лабораторий, созданных на средства гранта Министерства образования и науки РФ, проводятся образовательные программы "Школа ключевых исследователей в области ИИ" (для студентов и аспирантов) и "Школа заказчика в области ИИ" (для компаний и

государственных структур). Кроме того, существует оригинальная программа BlueSkyResearch

конкурс, поддерживающий поисковые исследования на ранних стадиях формирования идей (финансируется Фондом поддержки инноваций и молодежных инициатив Санкт-Петербурга. Основная цель конкурса - апробация междисциплинарного инновационного механизма для выявления перспективных тем исследований в передовых, высокорисковых областях с последующим созданием решений на основе нейронных сетей и/или машинного обучения<sup>74</sup>.

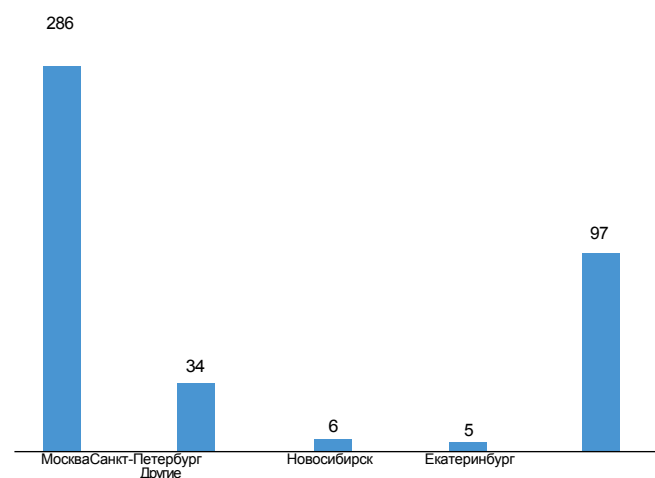
<sup>74</sup> Конкурс искусственного интеллекта в науке от Blue Sky Research // Blue Sky Research, 2022. - URL: blueskyresearch.ru. (in Russian)

В области прикладного искусственного интеллекта город обладает компетенциями в решениях для медицины и нефтегазового сектора. Во многом это обусловлено наличием крупных заказчиков (в первую очередь "Газпром нефти"). Несмотря на то, что разработчики и заказчики ИИ локализованы в Санкт-Петербурге, сбор данных и практическое применение созданных моделей часто происходит в других регионах России.

Большинство ключевых исследователей искусственного интеллекта в Петербурге убеждены: для того чтобы город начал формироваться как самостоятельный исследовательский центр в области искусственного интеллекта, необходимо выполнить ряд условий.

1. Создание платформы для сотрудничества между городскими властями, университетами, исследовательскими центрами и бизнесом в виде Центра экспертизы в области искусственного интеллекта, который сможет реализовывать практические проекты федерального масштаба.
2. Развитие и унификация (с точки зрения лучших практик) направлений подготовки в области искусственного интеллекта в университетах. Несмотря на то, что в последние годы многие университеты открыли новые программы обучения в области ИИ, по-прежнему существует проблема привлечения и переподготовки преподавателей, без которой невозможно масштабировать подготовку специалистов в этих областях.
3. Публичное позиционирование Санкт-Петербурга как мегарегионального хаба в области искусственного интеллекта, в том числе за счет фокусировки на нишевых задачах для ИИ (прежде всего инфраструктурных), а также за счет создания новых рабочих мест.

География российского рынка AI и ML на начало 2019 года (Общее количество компаний - 329)



Доля "цифровых" вакансий в России, включая Санкт-Петербург, 2010 - 2019 гг, % от общего числа вакансий на рынке

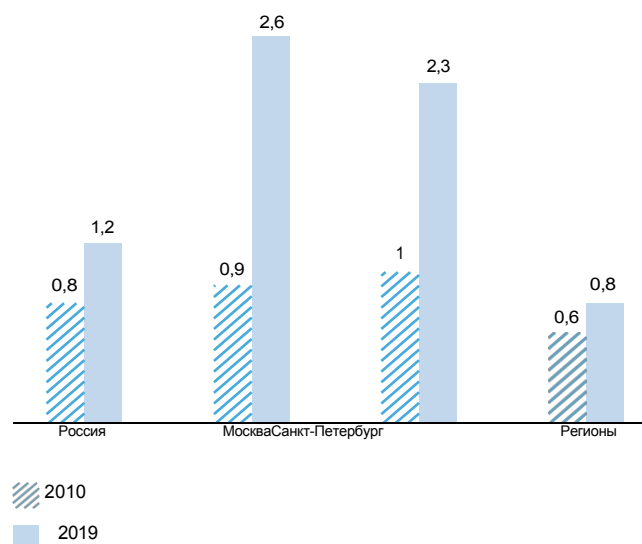


Рис. 18. Потенциал Санкт-Петербурга на российском рынке искусственного интеллекта

Источник: OpentalksAI, HeadHunter

Именно эти механизмы будут развиваться в ходе реализации программы научно-образовательного центра мирового уровня "Искусственный интеллект в промышленности" в Санкт-Петербурге, вовлекая в свою орбиту все большее количество организаций со всей страны.

# Заключение

В условиях нестабильной геополитической ситуации приемлемой стратегией для научного сектора российской индустрии ИИ было бы расширение и поддержка сотрудничества с нейтральными платформами и высокорейтинговыми журналами, развитие независимой внутренней системы оценки исследований в области ИИ экспертами, работающими в отрасли, развитие взаимодействия между научными коллективами страны, концентрация на общественно значимых задачах и сверхзадачах. Крайне важно, чтобы инвестиции в искусственный интеллект в ближайшие годы имели достаточный объем и были направлены на технологии, обеспечивающие прорыв в производстве, научных и конструкторских разработках и потребительских услугах в России.



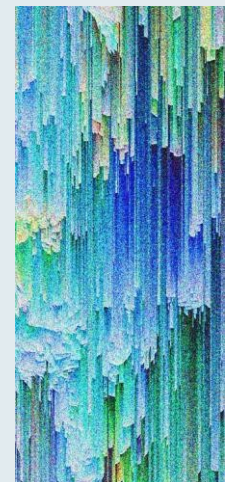
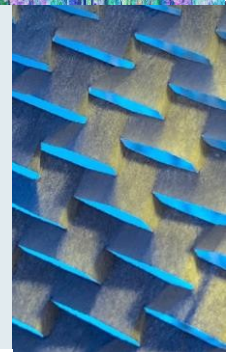
Именно промышленность способна стать основным инвестором в индустрию ИИ в Российской Федерации после государства. Нефтегазовый сектор претендует на звание наиболее активной отрасли, заинтересованной в развитии рынка технологий ИИ, наряду с металлургией и химической промышленностью.



В связи с сокращением импорта аппаратного обеспечения для искусственного интеллекта необходимо запускать программы реинжиниринга для аппаратного и программного обеспечения. Технологии искусственного интеллекта открывают новые возможности для реинжиниринга, ускоряя и упрощая процесс обратного проектирования устройств.



Санкт-Петербург является одним из крупнейших центров разработки и применения искусственного интеллекта в России благодаря наличию конкурентоспособных технических вузов, научных организаций и компаний, совершенствующих технологии ИИ. В интересах дальнейшего развития необходимо создать площадку для взаимодействия городских властей, вузов, научных коллективов и бизнеса в виде Центра экспертизы в области искусственного интеллекта, модернизировать и унифицировать направления подготовки в области ИИ в вузах, сконцентрировать усилия на нишевых задачах для искусственного интеллекта.



# Библиография

1. S.1260 - United States Innovation and Competition Act of 2021 // Congress.gov, 2021. - URL: congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/1260
2. GitHub начал блокировать аккаунты российских компаний и разработчиков // BFM.ru, 2022. - URL: bfm.ru/news/497819. (in Russian)
3. Николсон К. ЕС блокирует новые сделки и платежи по российским исследованиям / С. Nicholson // ResearchProfessional News, 2022. - URL: researchprofessionalnews.com/r-news-europe-politics-2022-3-eu-blocks-new-russia-research-deals-and-payments/
4. Грибов М. Импортзамещение в ИТ: Цифровая трансформация в российском софте / М. Грибов // RB.RU, 2022. - URL: rb.ru/opinion/importozameshenie-v-it. (in Russian)
5. Айвазян Д. Будущее инженерии: что такое генеративный дизайн и как его использовать / Д. Айвазян // RB.RU, 2022. - URL: rb.ru/opinion/generativnyj-dizajn. (in Russian)
6. Goasduff L. The 4 Trends That Prevail on the Gartner Hype Cycle for AI, 2021 / L. Goasduff // Gartner, 2021. - URL: gartner.com/en/articles/the-4-trends-that-prevail-on-the-gartner-hype-cycle-for-ai-2021.
7. Заявление о совместном издательстве 31 марта 2022 года // Mailchimp, 2022. - URL: mailchi.mp/4851e2a74119/joint-publisher-statement.
8. Российская Федерация. Указы. О некоторых вопросах применения требований и целевых значений показателей, связанных с издательской деятельностью : постановление № 414 : [принято Правительством Российской Федерации 19 марта 2022 г.]. - URL: ips.pravo.gov.ru:8080/default.aspx?pn=0001202203210040. (in Russian)
9. Шесть исследовательских центров ИИ получат федеральные гранты в размере до 1 млрд рублей // Аналитический центр при Правительстве РФ, 2021. - URL: as.gov.ru/news/page/6-issledovatel'skih-centrov-po-ii-poluchat-federalnye-granty-do-1-mld-rublej-27059. (на русском языке)
10. Общий объем венчурных инвестиций в ИИ по странам и отраслям // ОЭСР. А, 2022. - URL: oecd.ai/en/data?selectedArea=investments-in-ai&selectedVisualization=total-vc-investments-in-ai-by-country-and-industry.
11. Доходы от продаж программного обеспечения для искусственного интеллекта достигнут \$59,8 млрд в мире к 2025 году // Businesswire, 2017. - URL: businesswire.com/news/home/20170502006394/en/Artificial-Intelligence-Software-Revenue-to-Reach-59.8-Billion-Worldwide-by-2025-According-to-Tractica.
12. По данным исследования Gartner, 66 % организаций увеличили или не изменили инвестиции в ИИ с начала COVID-19 // Gartner, 2020. - URL: gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-10-01-gartner-survey-reveals-66-percent-of-organizations-increased-or-did-not-change-ai-investments-since-the-onset-of-covid-19#:~:text=Октябрь%201%2C%202020,Gartner%20Survey%20Reveals%2066%25%20of%20Organizations%20Increased%20or%20Did%20Not,the%20Onset%20of%20COVID%2D19.
13. Митчелл М. Почему искусственный интеллект сложнее, чем мы думаем / М. Митчелл // arXiv, 2021. - URL: arxiv.org/pdf/2104.12871.pdf.
14. 10 миллионов самоуправляемых автомобилей появятся на дорогах к 2020 году // BI Intelligence, 2016. - URL: businessinsider.com/report-10-million-self-driving-cars-will-be-on-the-road-by-2020-2015-5-6.
15. Финансирование революции: Government Support for Computing Research // National Academy Press, 1999. - URL: web.archive.org/web/20080112001018/http://www.nap.edu/readingroom/books/far/ch9.html.
16. Маск объявил о создании человекоподобного робота Tesla Bot // Forbes, 2021. - URL: forbes.ru/newsroom/milliardery/437783-mask-obyavil-o-sozdanii-chelovekopodobnogo-robot-tesla-bot.
17. Темные века ИИ: панельная дискуссия на AAAI-84 / Макдермотт Д., Уолдроп М. М., Schank R. [et al.] // AI Magazine. - 1985. - № 8-3. - С. 122-134.
18. Брукс Р. Неудобная правда о AI - ИИ не превзойдет человеческий интеллект в ближайшее время / Р. Брукс // IEEE Spectrum, 2021. - URL: mordorintelligence.com/industry-reports/natural-language-processing-market.
19. Ясницкий Л. Зима близко. Почему искусственный интеллект может потерять популярность / Л. Ясницкий // Университет ВШЭ, 2019. - URL: iq.hse.ru/news/298467405.html.
20. Нильд Т. Deep Learning Already Hitting its Limitations? / Т. Нильд // Towards Data Science, 2019. - URL: towardsdatascience.com/is-deep-learning-already-hitting-its-limitations-c81826082ac3.
21. Финансирование революции: Government Support for Computing Research // National Academy Press, 1999. - URL: archive.org/web/20080112001018/http://www.nap.edu/readingroom/books/far/ch9.html.
22. Хокинс А. Дж. Вот самые дикие предсказания Элона Маска о самоуправляемых автомобилях Tesla / А. J. Hawkins // The Verge, 2019. - URL: theverge.com/2019/4/22/18510828/tesla-elon-musk-autonomy-day-investor-comments-self-driving-cars-predictions.
23. По материалам интервью с Л.В. Уткиным (СПбПУ) // Фонд КСО "Северо-Запад", 2021. - URL: W:\Science\Регионы\САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2019\Проектные линии\НОЦ ИИ\Искусственный интеллект\Тезисы интервью.
24. Форд М. Правило роботов: Предупреждающие знаки / М. Форд // IEEE Spectrum, 2021. - URL: spectrum.ieee.org/rule-of-the-robots-book.
25. Небе В. Д. 2021 год стал годом чудовищных моделей искусственного интеллекта / В. Д. Небе // MIT Technology Review, 2021. - URL: technologyreview.com/2021/12/21/1042835/2021-was-the-year-of-monster-ai-models/?truid=&utm\_source=the\_load&utm\_medium=email&utm\_campaign=the\_download.unpaid.engagement&utm\_term=&utm\_content=12-22-2021&mc\_cid=eced389005&mc\_eid=fdcf859c6.
26. Вычислительные пределы глубокого обучения / Н. К. Томпсон, К. Гринвальд, К. Ли, Г. Ф. Мансо // arXiv, 2020 г. - URL: arxiv.org/abs/2007.05558.
27. Чиверс Т. Как Deepmind заново изобретает робота / Т. Чиверс // IEEE Spectrum, 2021. - URL: spectrum.ieee.org/how-deepmind-is-reinventing-the-robot.
28. Равенство классов P и NP // Академический словарь, 2010. - URL: ru.dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/93836.



55. Из лекции Санджива Сриваставы на семинаре AI Driven Design Approach // YouTube-channel Machine Learning Center at Georgia Tech, 2020. - URL: youtube.com/watch?v=ei7WsFM2lik

56. Перспективы IoT и ИИ: эксперты обсуждают этические дилеммы // Connect-wit, 2020. - URL: [connect-wit.ru/perspektivy-iot-i-ai-ekspertry-obsudili-eticheskie-dilemmy.html](http://connect-wit.ru/perspektivy-iot-i-ai-ekspertry-obsudili-eticheskie-dilemmy.html).
57. Системы автоматизации и интеграция - Рамки цифрового двойника для производства - Часть 1: Обзор и общие принципы // ISO, 2021. - URL: [iso.org/ru/standard/75066.html](http://iso.org/ru/standard/75066.html).
58. Бек Р. Цифровые близнецы и ИИ: трансформация промышленных операций / Р. Бек // AspenTech. - URL: [reliableplant.com/Read/31897/digital-twins-ai](http://reliableplant.com/Read/31897/digital-twins-ai).
59. Prahladrao S. The Future of Manufacturing to be AI Driven / S. Prahladrao // ARC Advisory Group. - URL: [arcweb.com/industry-best-practices/future-manufacturing-be-ai-driven](http://arcweb.com/industry-best-practices/future-manufacturing-be-ai-driven).
60. Фабрика индивидуального производства, управляемая искусственным интеллектом: Ключевые технологии, приложения и вызовы / Дж. Ван, X. Li, H. Dai [et al.] // arXiv, 2020 г. - URL: [arxiv.org/pdf/2108.03383.pdf](http://arxiv.org/pdf/2108.03383.pdf).
61. Буриан Дж. Является ли "промышленная метаверсия" следующей большой вещью? / Дж. Буриан // Industry Week, 2022. - URL: [industryweek.com/technology-and-iiot/emerging-technologies/article/21234184/is-the-industrial-metaverse-the-next-big-thing](http://industryweek.com/technology-and-iiot/emerging-technologies/article/21234184/is-the-industrial-metaverse-the-next-big-thing).
62. Bi Z. M. Механизмы обеспечения безопасности коллаборативных роботизированных систем в производстве / Z. M. Bi, C. Luo, Z. Miao [и др.] // ScienceDirect, 2021. - URL: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584520302337](http://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584520302337).
63. Малик А. А. Цифровые двойники для совместной работы роботов: Тематическое исследование взаимодействия человека и робота / А. А. Малик, А. Брем // ScienceDirect, 2021. - URL: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584520303021](http://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584520303021).
64. Сотрудничество человека и робота: 3 Case Studies // Wevolver, 2020. - URL: [wevolver.com/article/humanrobot-collaboration.3.case.studies](http://wevolver.com/article/humanrobot-collaboration.3.case.studies).
65. Демир К. А. Индустрия 5.0 и совместная работа человека и робота / К. А. Демир, Г. Дёвен, B. Sezen // ScienceDirect, 2019. - URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919312748](http://sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919312748).
66. Мюллер, Дж. Развивающие технологии для промышленности 5.0. / Й. Мюллер // Еврокомиссия, 2020. - URL: [op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8e5de100-2a1c-11eb-9d7e-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-248960047](http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8e5de100-2a1c-11eb-9d7e-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-248960047).
67. Прогнозирование орбиты спутников с использованием больших данных и методов мягких вычислений для предотвращения космических столкновений / К. Пуэнте, М. А. Саенс-Нуньо, А. Вилла-Монте, X. А. Оливас // MDPI, 2021. - URL: [mdpi.com/2227-7390/9/17/2040/htm](http://mdpi.com/2227-7390/9/17/2040/htm).
68. Самуэльсон П., Скотчмер С. Право и экономика реинжиниринга / П. Самуэльсон, С. Скотчмер // Йельский юридический журнал. - 2002. - № 111-7. - 1575-1663 p.
69. Виггерс К. Исследователи предлагают систему искусственного интеллекта, которая реверсирует приложения "черного ящика" /. К. Виггерс // VentureBeat, 2020. - URL: [venturebeat.com/2020/06/23/researchers-propose-ai-that-reverse-engineers-black-box-apps/](http://venturebeat.com/2020/06/23/researchers-propose-ai-that-reverse-engineers-black-box-apps/).
70. Шенкар О. Имитаторы. Как компании заимствуют и перерабатывают чужие идеи /. О. Шенкар. - Москва: Альпина Паблишер, 2011.
71. Степанов Д. Оборудование для печатных процессоров по технологии 17-летней давности создадут в России за 5,7 млрд / Д. Степанов // CNews, 2021. - URL: [cnews.ru/news/top/2021-11-22\\_v\\_rossii\\_zh\\_57\\_milliarda\\_rublej](http://cnews.ru/news/top/2021-11-22_v_rossii_zh_57_milliarda_rublej).
72. Механик А. Литография без маски /. А. Механик // Stimulus, 2019. - URL: [stimul.online/articles/innovatsii/litografiya-bez-maski/](http://stimul.online/articles/innovatsii/litografiya-bez-maski/).
73. Из лекции О. А. Тельминова (НИИМЭ) на семинаре Ассоциации "ИИ в промышленности" // YouTube, 2022. - URL: [youtu.be/26vqoN-it7g?t=8842](https://youtu.be/26vqoN-it7g?t=8842).
74. Конкурс искусственного интеллекта в науке от Blue Sky Research // Blue Sky Research, 2022 г. - URL: [blueskyresearch.ru/](http://blueskyresearch.ru/).





ПРАВИТЕЛЬСТВО  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА



ФОНД ИНИЦИАТИВ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

АССОЦИАЦИЯ  
«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ  
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ»