



2023 Робототехника

Технологический обзор
Возможности для России



Executive Summary

Робототехника — это мост, который связывает виртуальный мир ИИ и физический мир, где создается реальная ценность реальной экономики

Технологический обзор

Промышленная робототехника — основной драйвер развития отрасли, при этом сервисная робототехника имеет бóльший потенциал в силу того, что глобальная экономика основана на сервисной модели

Плотность роботизации в мире выросла в 2 раза за последние семь лет. **Азия — лидер** в производстве роботов и роботизации промышленности. Плотность роботизации в Китае в 3,5 раза выше мировой

США — лидер рынка инвестиций в робототехнические стартапы. Однако в мире инвестиции в робототехнику снижаются на фоне спада венчурного рынка, но есть отдельные истории успеха

Человекоподобные роботы становятся предметом более фокусного внимания венчурных инвесторов частично в силу того, что могут раскрыть новые возможности больших языковых моделей

Создание роботов, способных работать с человеком в разных ситуациях и средах, **требует серьезных научно-технологических исследований**: ИИ, сенсоры, энергонезависимость, актуаторы, манипуляция и т.д.

Большие языковые модели станут катализатором новых идей для робототехники

Executive Summary

Россия — один из мировых лидеров в сервисной робототехнике, в т.ч. благодаря существующему в Сколково кластеру робототехнических стартапов

Возможности для России для ускорения развития робототехники

Субсидирование внедрения промышленных роботов

Развитие кластера сервисной робототехники

Проведение робототехнических конкурсов разного типа

Сетевая исследовательская программа с амбициозными, но достижимыми целями (например, создание человекоподобного коллаборативного робота)

Организация сбора статистических показателей индустрии робототехники в России

Главная угроза для России — безвозвратная потеря исследовательского, инженерного человеческого потенциала

Содержание

1 Что такое
робот?

2 Рынки
робототехники

3 Мегатренды
робототехники

4 Инвестиции
в стартапы

5 Научно-
исследовательские
вызовы

6 SOTA
робототехники,
конкурсы

7 Что происходит
в России?

8 Предложения

1

Что такое
робот?

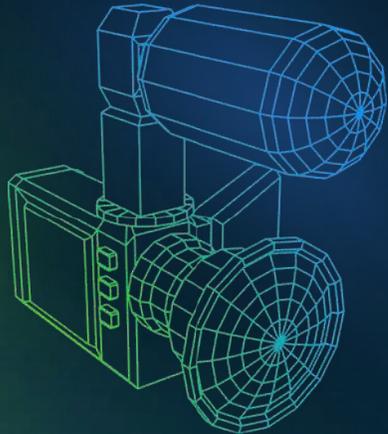


Роботы — мост от виртуального к физическому миру

Sense, Think, Act — три главных компонента, определяющих устройство как робот

Sense

Воспринимает мир с помощью сенсоров



Как:

Камеры, сонары, лидары, радары, искусственная кожа и т.п.

Think

Интерпретирует сигналы и адаптирует поведение



Как:

Принятие решений, навигация, распознавание образов, речи, синтез информации

Act

Воздействует на физический мир любым результативным способом



Как:

Моторы, актуаторы, манипуляторы, аккумуляторы

2

Рынки робототехники

Промышленные роботы



Пандемия COVID-19 увеличила спрос на промышленных роботов

Каждые 5 лет количество новых роботов удваивается



517 тыс.

штук установлено роботов в 2021 г. (в 2018 г. – 423 тыс.)

30%+

темп роста по сравнению с 2020 г.

Объемы поставки промышленных роботов в мире, тыс. шт., 2011–2021 гг.

Источник: [World Robotics Report 2022, Industrial Robots](#)

Производство электроники — основной драйвер развития промышленных роботов в 2020-2021 гг.

Количество поставляемых роботов по отраслям, тыс.ед/год



136,7 тыс.

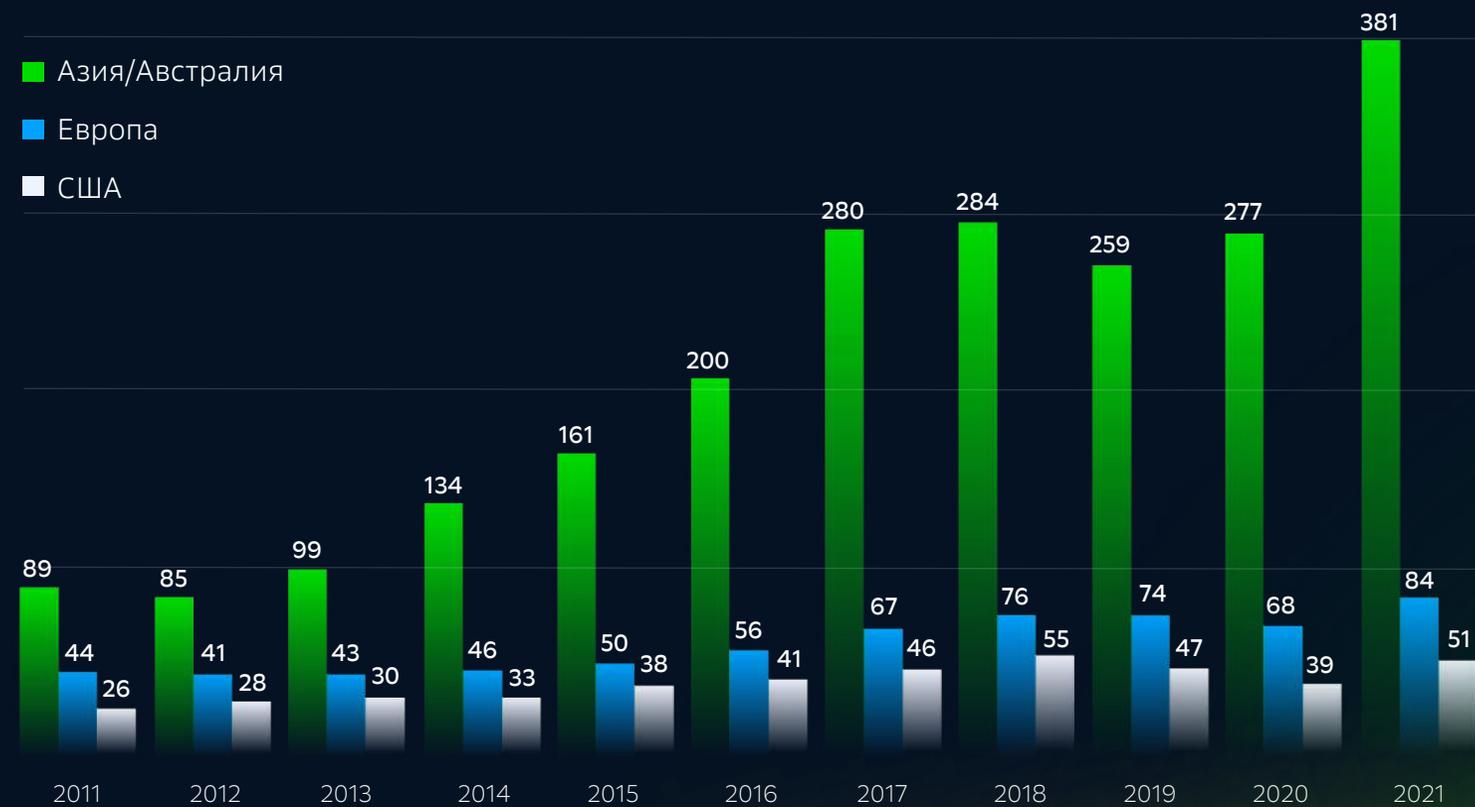
количество роботов поставлено для электронной промышленности в 2021 г. — рекордное количество

+24%

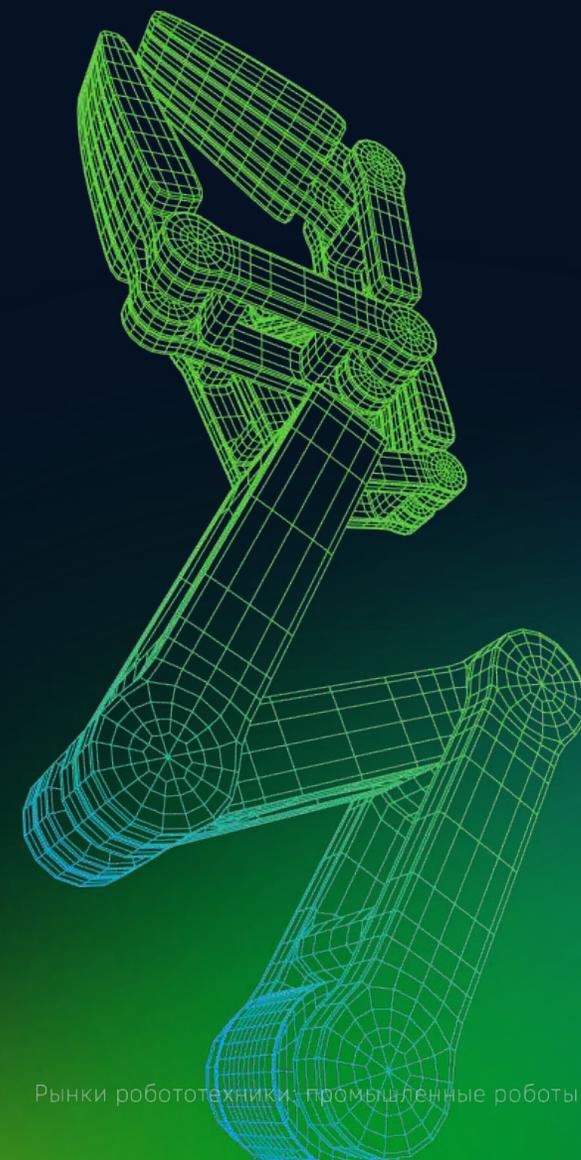
годовой прирост объема поставок роботов для электротехнической и электронной промышленности в 2021 г.

С 2 до 4 раз за 10 лет увеличился отрыв Азии от Европы и Америки по потреблению пром. роботов

Динамика потребления промышленных роботов регионами-лидерами, тыс. шт., 2011–2021 гг.

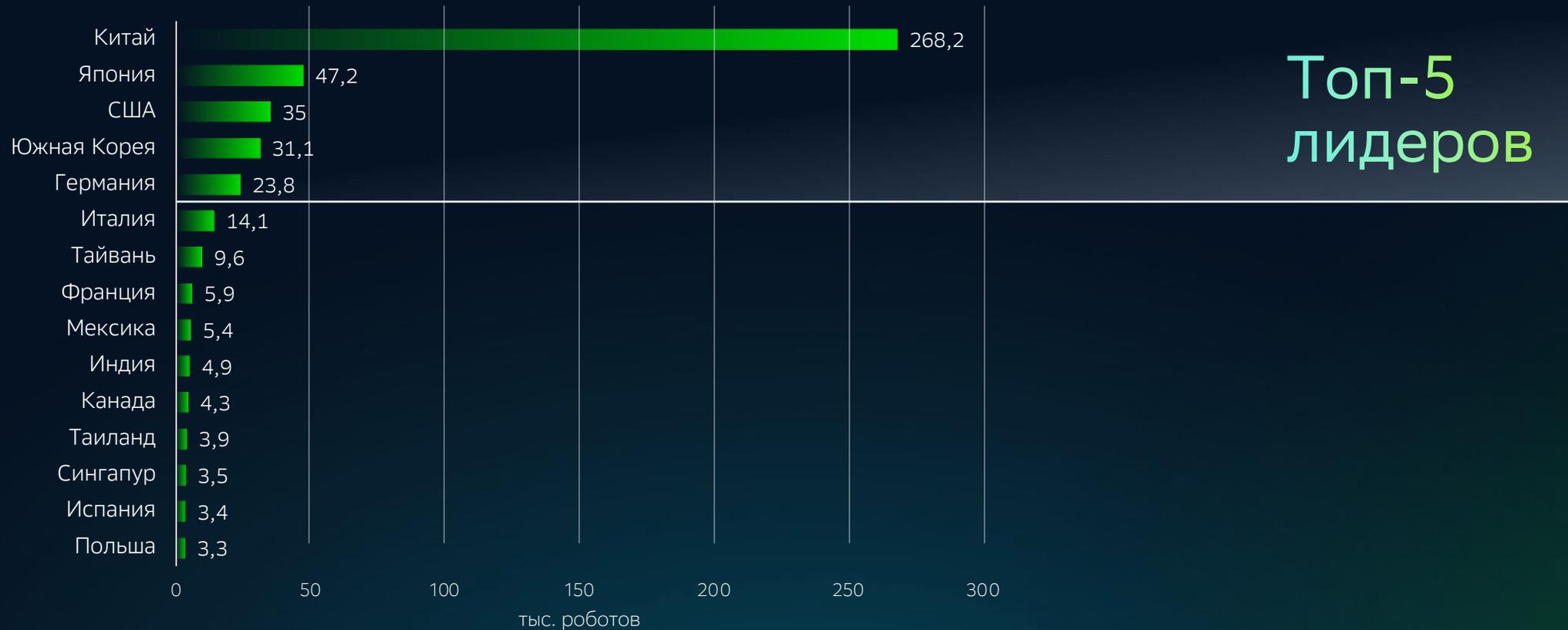


Источник: [World Robotics Report 2022, Industrial Robots](#)



78% роботов поставляются в пять стран

Топ-15 стран-лидеров роботизации промышленности в 2021 г.



Источник: [World Robotics Report 2022. Industrial Robots](#)

141 робот на 10 тыс. сотрудников — средняя плотность* роботизации в мировой промышленности в 2021 г.

*Плотность роботизации — мера роботизации производства — количество пром. роботов на 10 000 работников

	Азия	Европа	Северная и Южная Америка
Плотность роботизации, 2021 г.	156	129	117
Темп роста плотности роботизации с 2016 по 2021 г.	18%	8%	8%

Источник: [World Robotics Report 2022, Industrial Robots](#)

Южная Корея — мировой лидер по плотности роботизации

Плотность роботизации в промышленности, 2021 г.



Источник: [World Robotics Report 2022. Industrial Robots](#)

3,5 млн роботов эксплуатируется в мире

Динамика парка промышленных роботов в мире, шт., 2012—2021 гг.



3,5 млн

парк промышленных роботов в 2021 г.

14%

средний ежегодный темп роста с 2016 г.

Источник: [World Robotics Report 2022. Industrial Robots](#)

Китай — крупнейший рынок промышленных роботов, постоянный рост с 2013 г.

Более половины новых роботов 2021 г.

Мир **517** тыс.



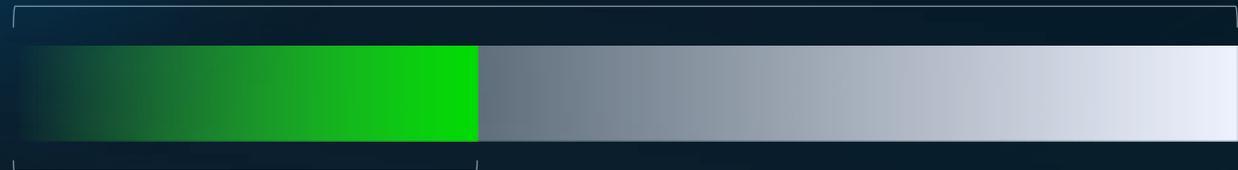
52% Китай

Источник:

[World Robotics Report 2022. Industrial Robots](#)

Каждый третий робот мира работает в Китае

Мир **3,5 млн**



35% Китай

Мир **14%**

В Китае темпы прироста роботов в 2 раза больше, чем в среднем по миру за 2020–2021 гг.

Китай **28%**

Промышленную робототехнику ждет умеренный рост, а не «бум»

Прогноз установок новых роботов до 2025 г.



Причина:

66%

мировой экономики –
сервисы, а не промышленность

Не более

10%

прогнозные темпы роста
установок до 2025 г.,
в т.ч. в Китае и Японии

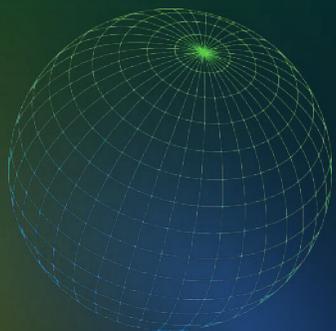
Источник: [World Robotics Report 2022. Industrial Robots](#)



Рынки робототехники

Сервисные роботы

37% — рост продаж профессиональных сервисных роботов в 2021 г.



1010

производителей сервисных роботов в мире



225

Компании-производители в США



176

компаний в США (78%) производят сервисных профессиональных роботов



54

компании в США (24%) создают сервисных потребительских роботов

6 место в мире занимает Россия по количеству производителей сервисных роботов

Производители сервисных роботов по странам, 2022 г.



10%

доля стартапов на рынке сервисных роботов

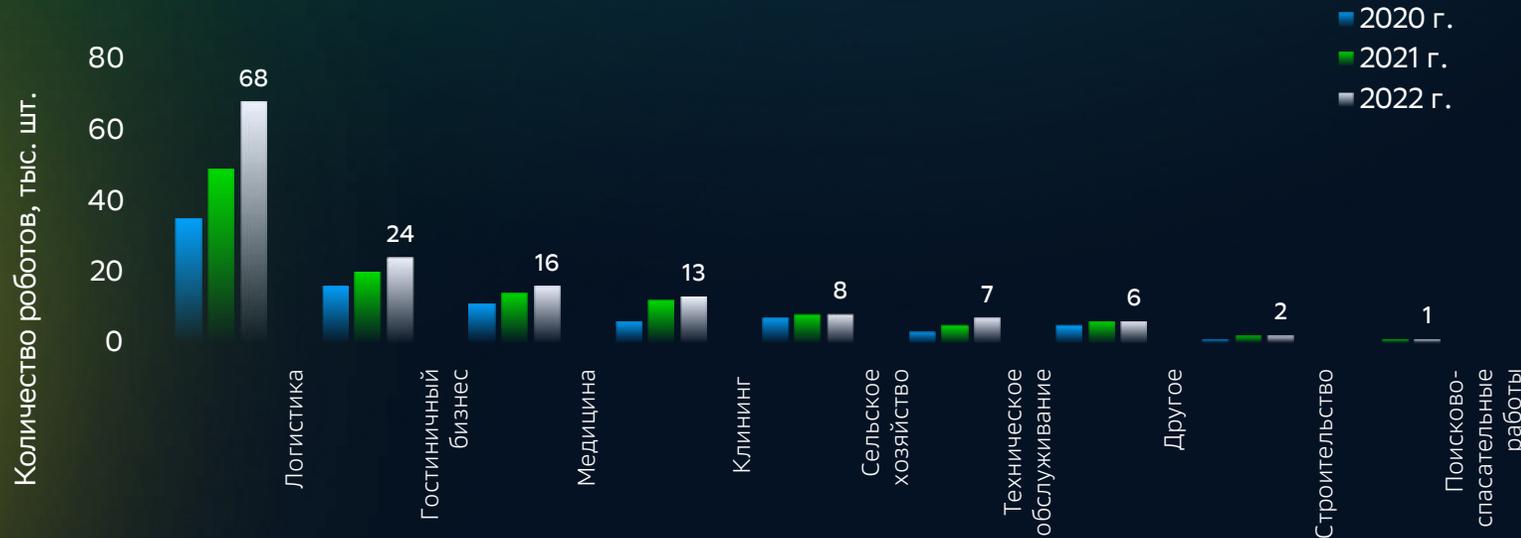
4,3 раза

отставание России от лидера рынка по числу производителей сервисных роботов

Источник: [World Robotics Report 2022. Industrial Robots](#)

Логистическая робототехника — самый привлекательный рынок — \$ 7,9 млрд

Объемы продаж профессиональных сервисных роботов за 2020–2022 гг.



! Каждый третий из продаваемых сервисных роботов используется для перемещения грузов

Источники: [World Robotics Report 2022. Industrial Robots](#)
[Global Warehouse Robotics Market – Industry Trends and Forecast to 2030](#)

50 тыс.

мобильных роботов для логистики продано в 2021 г.

40%

ежегодный темп роста сегмента «транспортировка и логистика»

280%

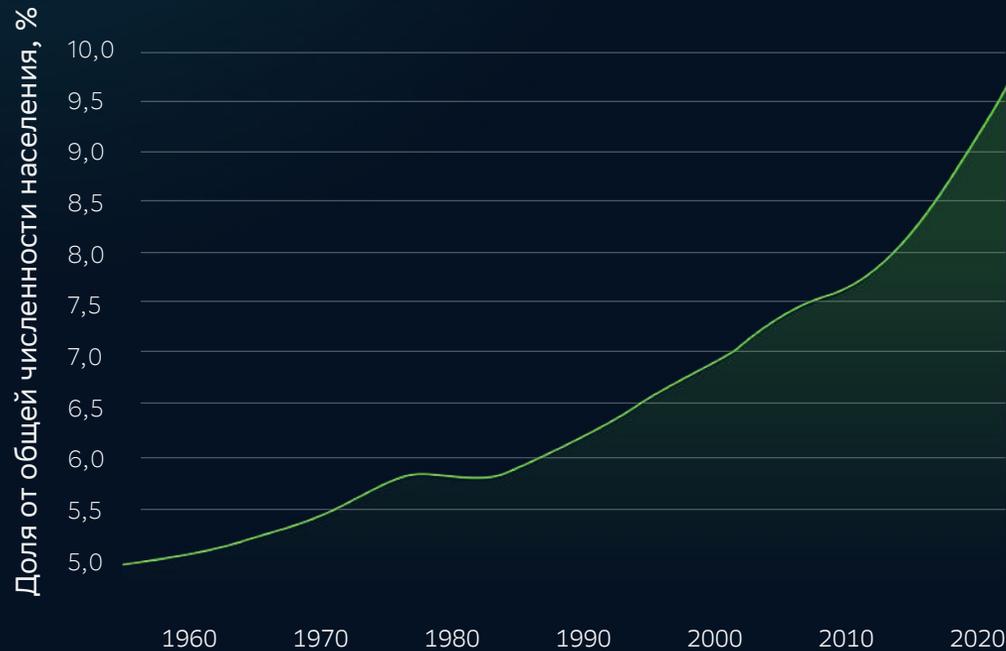
прогнозный прирост объемов продаж логистических роботов в 2025 г. относительно 2021 г.

3

Мегатренды робототехники

Старение населения делает неизбежным повышение спроса на робототехнику в развитых странах

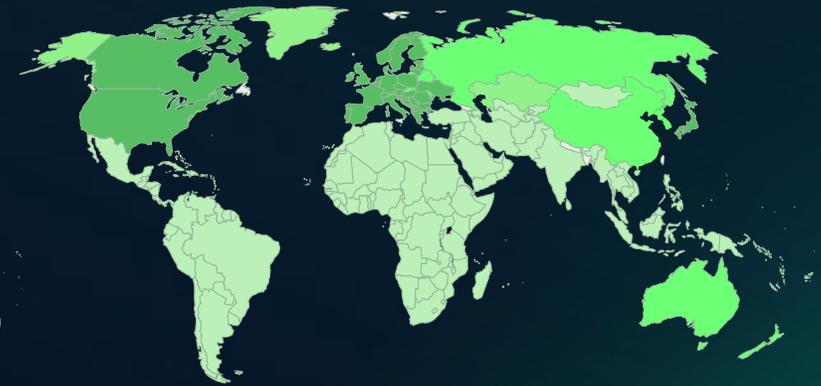
Население в возрасте 65+ лет



Старение населения обуславливает снижение доли работоспособного населения, что стимулирует внедрение альтернативных трудовых ресурсов – роботов

2021 г.

- <4,62
- 4,62–7,95
- 7,95–12,32
- 12,32–17,40
- >17,40



В **2** раза

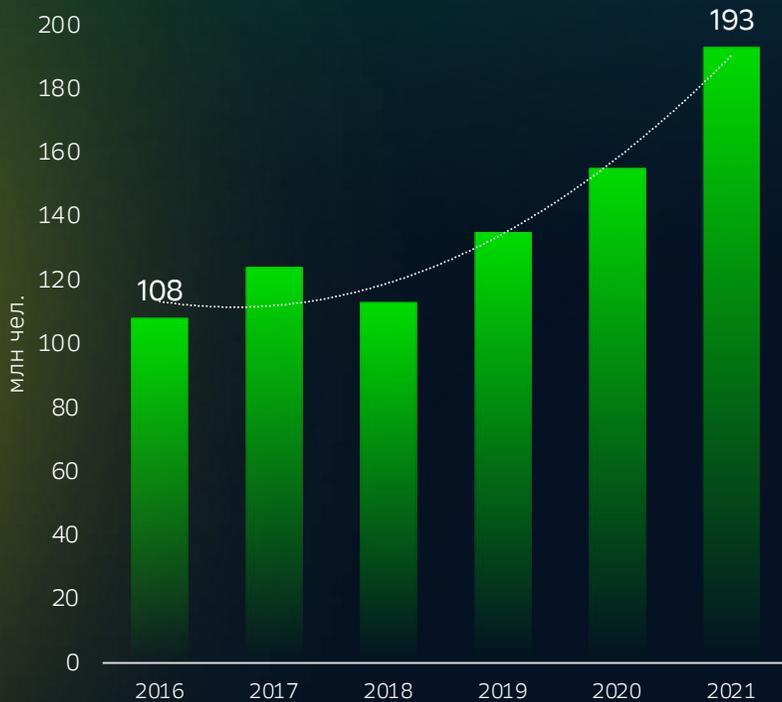
увеличилась доля населения 65+ лет за последние полвека: с 5 до 10%

Более **15%**

доля населения 65+ лет в развитых странах за 2021 г.

Продовольственная безопасность недостижима без роботизации сельского хозяйства

Количество голодающих в мире



+1,7 млрд

потенциальный прирост населения мира к 2050 г.

В 2 раза

выросло количество голодающих с 2016 г.



+60%

необходимый прирост производства продовольствия к 2050 г., чтобы накормить всех

Источники:

[A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger](#)

[UN World Population Prospects: The 2022 Revision](#)

[THE U.S. FARM LABOR SHORTAGE](#)

[Global Report on Food Crises 2023](#)

Робот будущего работает рядом с человеком

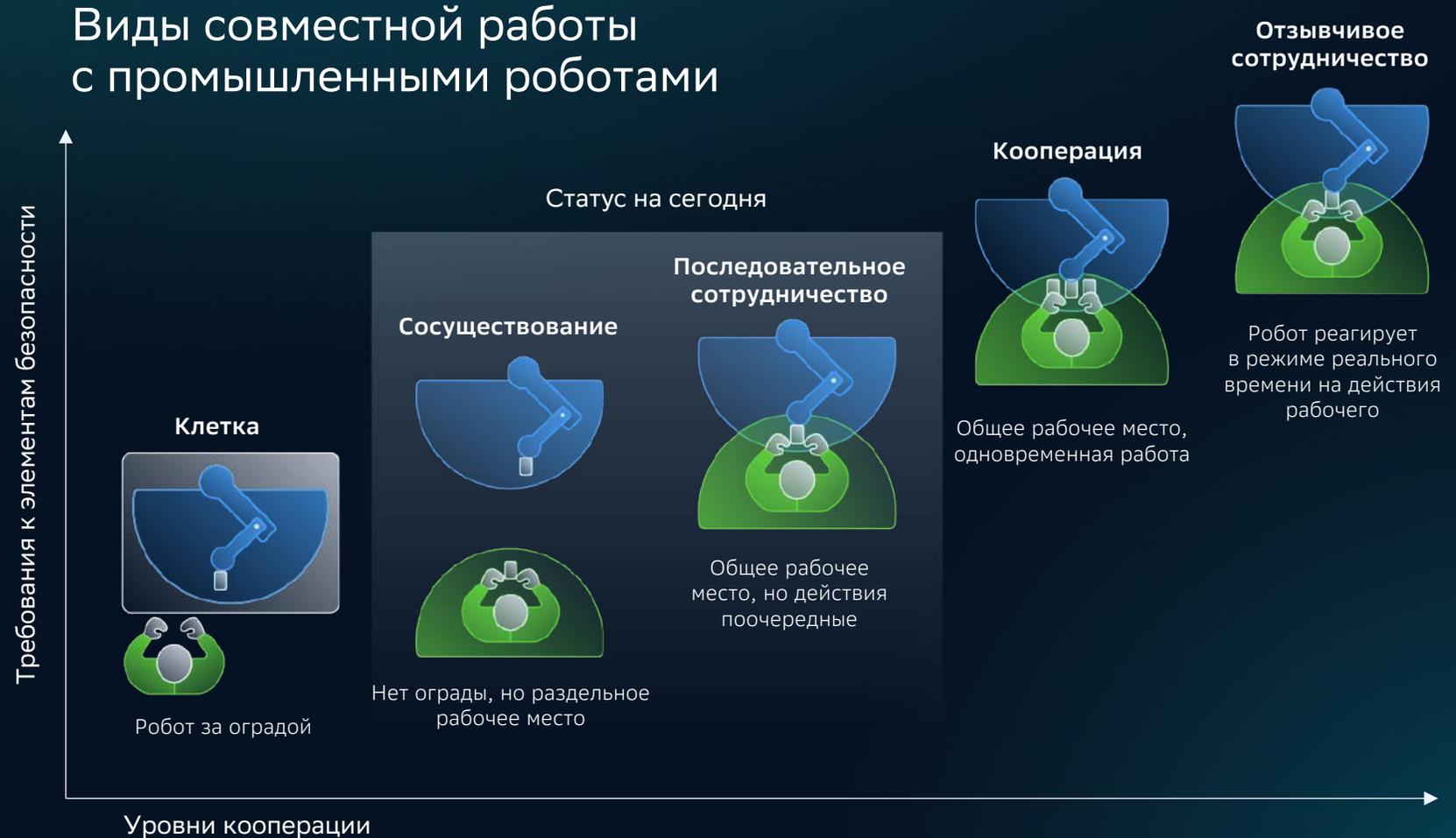
50-70%

в год достигали темпы роста установок коллаборативных роботов (коботов) в 2017–2021 гг.

7,5%

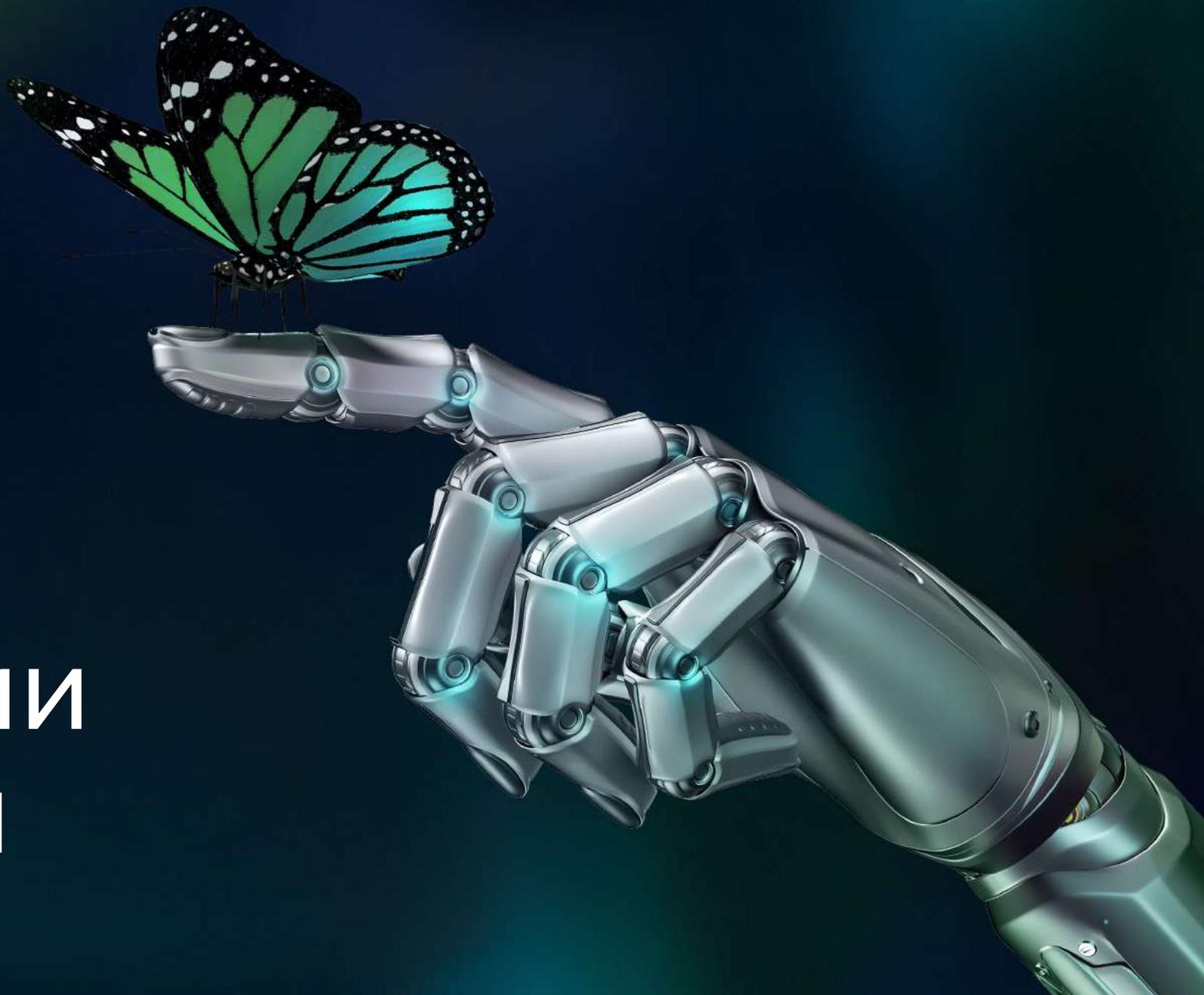
достигла доля коботов в объеме ежегодно устанавливаемых промышленных роботов в 2021 г. по сравнению с 2,8% в 2017 г.

Виды совместной работы с промышленными роботами



4

Инвестиции в стартапы



Пандемия COVID-19 способствовала кратному росту инвестиций в робототехнические стартапы, но ненадолго

Венчурные инвестиции в робототехнику в мире



на **44%**

снизились инвестиции в стартапы в 2022 г. по сравнению с 2021 г.

Источник: [Crunchbase](https://www.crunchbase.com)

При стагнации инвестиций в 2022–2023 гг. есть успешные стартапы-лидеры

\$117

млн

Locus Robotics привлекла в ноябре 2022 г. в раунде F

складская робототехника, автономные мобильные роботы для Esom

\$91

млн

AMP Robotics – в раунде C

роботы с искусственным интеллектом и инфраструктуры для индустрии переработки отходов

\$46,5

млн

Verdant Robotics – в раунде A

автономная система для опрыскивания и лазерной прополки, наряду с цифровым моделированием урожая

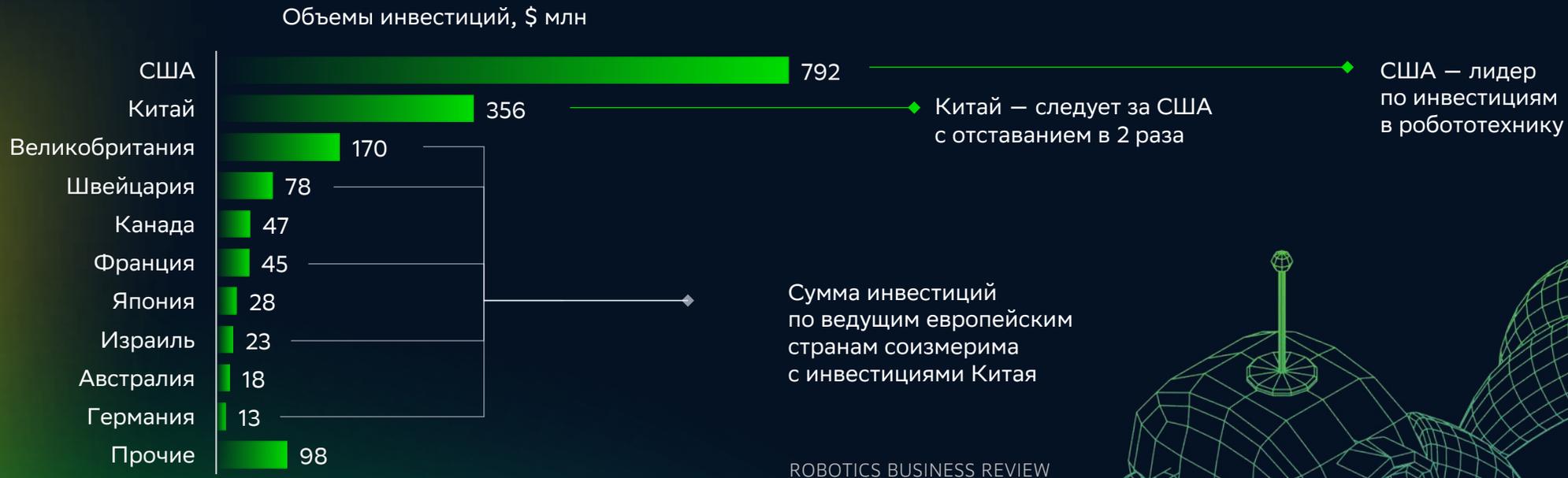
Венчурные инвестиции в робототехнические стартапы по миру



Источник: [Crunchbase](https://www.crunchbase.com)

США — лидер инвестиций в робототехнические стартапы в I кв. 2023 г., несмотря на венчурную «зиму»

Венчурные инвестиции в робототехнику в I кв. 2023 г. по странам



Источник: [Robotics Business Review](#)

5

Научно-исследовательские
ВЫЗОВЫ

Научные публикации о роботах росли экспоненциально и достигли пика в пандемию COVID-19

Исследовательские команды в мире работают над улучшением главных компонентов роботов



Восприятие мира с помощью сенсоров



Интерпретация сигналов и адаптация поведения

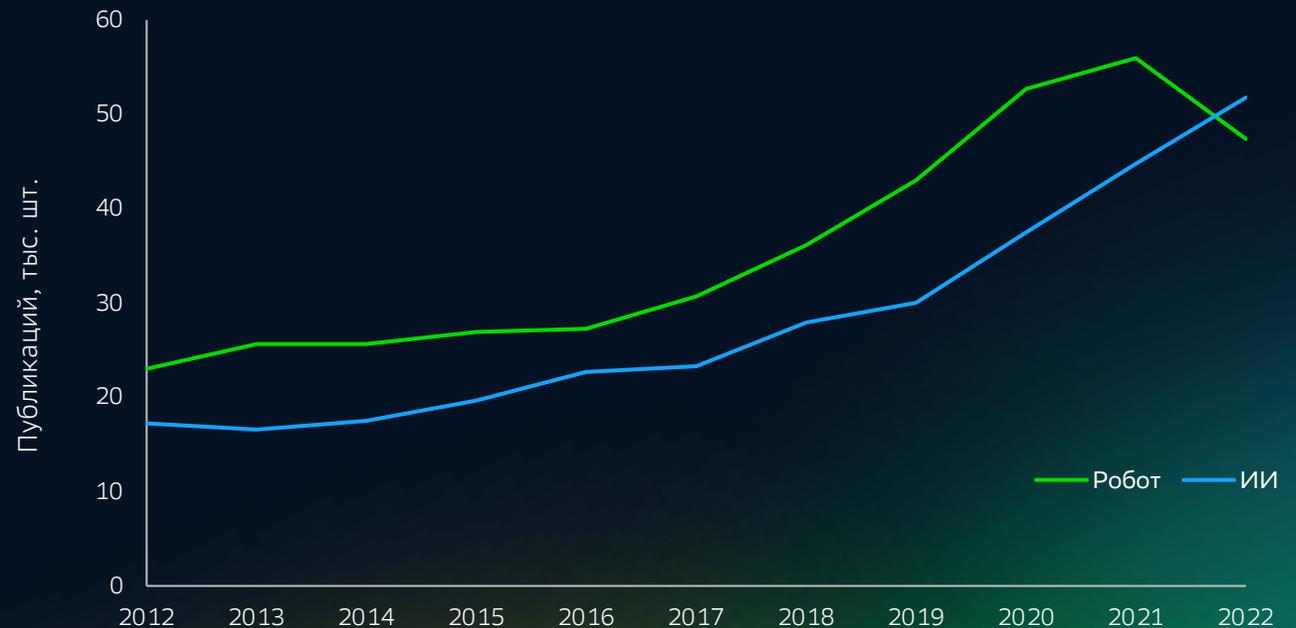


Воздействие на физический мир любым результативным способом

~400 тыс. научных публикаций в мире о роботах с 2012 г.,

это на 27% больше, чем по теме ИИ

Сравнение ежегодного количества публикаций на тему «Роботы» и «ИИ» в Scopus за 2012–2022 гг.



Источник: база научных публикаций Scopus

Взаимодействие

- Разработка алгоритмов и сенсоров (камеры, LIDAR и др.), способных к точной и надежной интерпретации мира и предсказанию поведения объектов
- Разработка архитектур, обеспечивающих надежное и энергоэффективное распознавание и предсказательное поведение больших наборов объектов, в т.ч. в недетерминированных условиях
- Новые сенсоры с высокой степенью редукции аналоговой информации

Nvidia+Segway Robotics

Май 2023 г.

Изображения сгенерированы нейросетью Сбера Kandinsky 2.2



Платформа «Isaac AMR» для быстрого и дешевого машинного обучения, развертывания и оптимизации парка автономных роботов

Научно-исследовательские вызовы в робототехнике (2/5)

Восприятие

- Разработка передовых алгоритмов управления, захватов и другого оборудования для взаимодействия с окружающим миром
- Интеграция достижений материаловедения для создания, например, более гибких и чувствительных сенсорных исполнительных органов

SRI International

Изображения сгенерированы нейросетью Сбера Kandinsky 2.2

Апрель 2023 г.



Аппаратно-программный комплекс для захвата и пространственного перемещения различных предметов сложной формы

Научно-исследовательские вызовы в робототехнике (3/5)

Мобильность

- Разработка роботов, способных двигаться быстро, безопасно и эффективно в любых условиях
- Способность адаптироваться к изменяющимся условиям и к динамическому окружению

Планировщик перемещения многоагентных систем для распределенного прогностического управления совместным перемещением четвероногих роботов

Caltech

Изображения сгенерированы нейросетью Сбера Kandinsky 2.2



Ноябрь 2022 г.



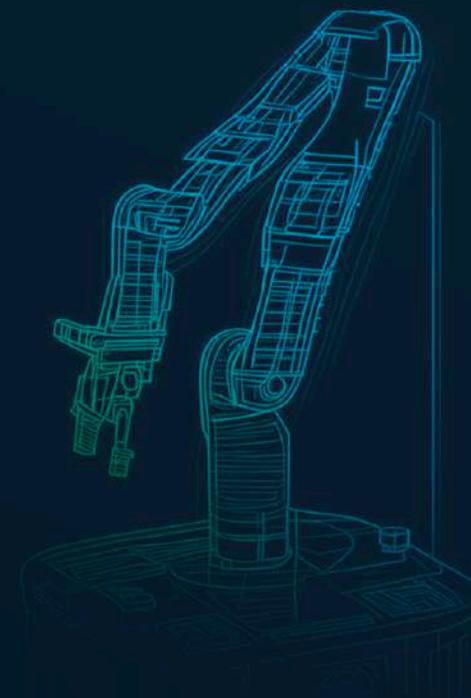
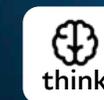
Научно-исследовательские вызовы в робототехнике (4/5)

Обучение и адаптация

- Разработка передовых алгоритмов машинного обучения и оборудования, которые могут позволить роботам учиться на своем опыте и принимать решения на основе этого обучения

Princeton University,
Stanford University,
The Nueva School,
Google, Columbia
University

Май 2023 г.



Мобильный манипулятор «TidyBot» для персональной помощи и обобщения пользовательских предпочтений, использующий языковое планирование и восприятие с возможностями больших языковых моделей (LLM)

Изображения сгенерированы нейросетью Сбера Kandinsky 2.2

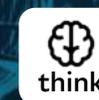
Взаимодействие человека и робота

Сбер, МИСиС

Июнь 2023 г.

- Разработка передовых алгоритмов управления и оборудования, которые позволят роботам понимать человеческие вербальные и невербальные коммуникации и реагировать соответствующим образом, а также предвидеть поведение неподготовленных пользователей
- Применение достижений в когнитивной науке для создания систем с гораздо более глубоким пониманием человека

Естественный язык управления роботом: в Лаборатории робототехники Сбербанка научили большую языковую модель (LLM) манипулировать предметами



Изображения сгенерированы нейросетью Сбера Kandinsky 2.2



В 2018 г. Сбер получил [патент](#) на систему безопасной коллаборативной работы человека и робота

Успехи LLMs создают новое окно возможностей для развития робототехники

Тренд: интеграция больших языковых моделей (LLM) в робототехнику для преодоления многих научно-исследовательских вызовов

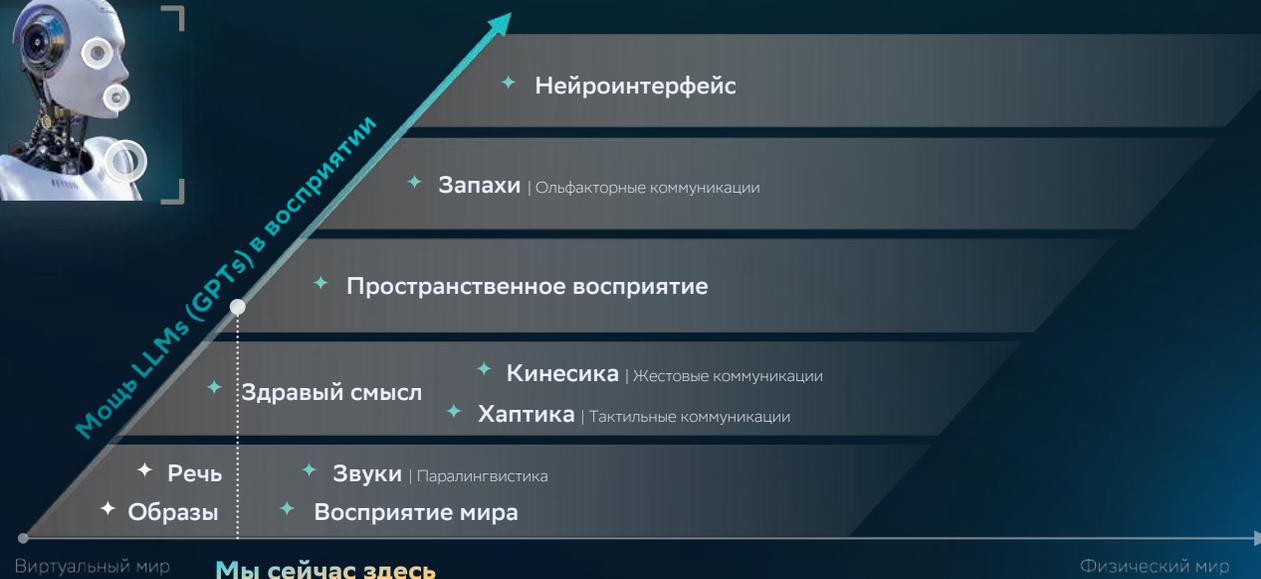
Благодаря LLMs вырастет способность роботов решать новые и уникальные задачи



РОБОТЫ И СЕНСОРЫ



Модальности антропоморфного робота



Источник: А. Ефимов

Широкому применению LLMs в робототехнике препятствуют исследовательские проблемы

LLM не всегда точны — дают фактически неверные утверждения — или предвзяты

Предвзятость



LLM могут генерировать предвзятые решения или решения, отражающие предвзятость данных, на которых они обучались

Безопасность



Существует риск того, что LLM могут быть использованы для принятия вредных или опасных решений

Этика



LLM трудно понять и контролировать. Важно учитывать этические последствия использования LLM



6

SOTA робототехники, конкурсы

Основные технологические конкурсы
2015–2023 гг.



Технологические конкурсы сфокусированы на вызовах разной сложности и значения

Задача имеет несколько возможных решений, но нет единой формулы оптимальности или метода решения. Отсутствуют общие форм-факторы

нет решения

Евробот

Кубок РТК

UpGreat

XPrize Wildfire

DARPA Robotics Challenge

DARPA Subterranean Challenge

XPrize Avatar Challenge

задача не встречается в реальной жизни

задача приближается к реальной жизни

WRO | Олимпиада роботов

World Skills

Битва роботов

есть решение

Регулярно проводятся в России или имеют российское происхождение

Существует оптимальный метод решения задачи, но он неизвестен участникам. На соревнованиях пытаются его найти

DARPA Robotics Challenge

2012–2015 гг.

Цель: создать роботов, способных выполнять основные действия спасателей в чрезвычайных условиях природных и техногенных катастроф

Технологии: перемещение робота в сложной среде, взаимодействие с инфраструктурой в автономном режиме и телеуправлении

Источник: [DRC](#)

Изображения сгенерированы нейросетью Сбера Kandinsky 2.2

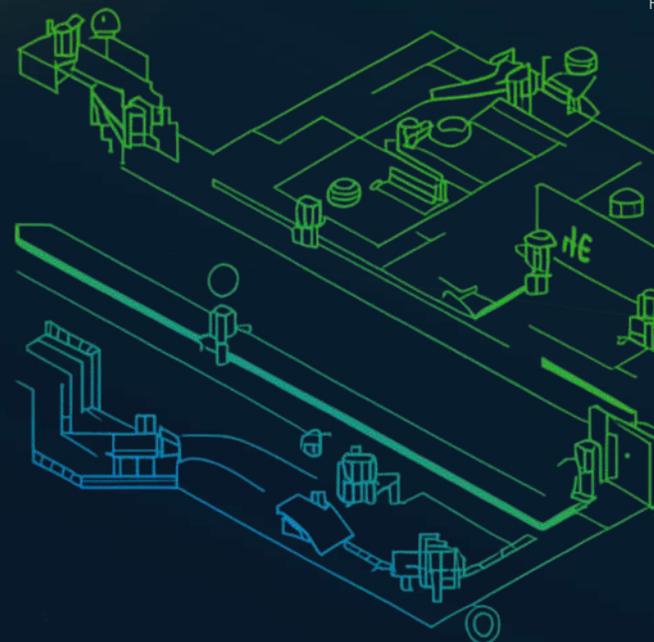


Иллюстрация сценария реагирования на стихийные бедствия, являющегося частью DARPA Robotics Challenge

DARPA Subterranean Challenge

2018–2021 гг.



Цель: решить проблему картографирования подземных пространств естественной и техногенной природы

Технологии: прорывные системы картографирования, связи для тяжелых условий внутри замкнутых пространств большой протяженности

\$3,5 млн премия

Источник: [DSC](#)

Изображения сгенерированы нейросетью Сбера Kandinsky 2.2



XPrize Avatar

с 2018 г.

Цель: радикально расширить возможности телеприсутствия уникальных специалистов в разных точках мира в реальном времени

Сценарии использования аватаров:

- Оказание медицинской помощи
- Помощь при стихийных бедствиях
- Помощь при уникальных услугах

\$10 млн премия

Источник: [ANA Avatar XPRIZE](#)

Изображения сгенерированы нейросетью Сбера Kandinsky 2.2



XPrize Wildfire

2023 г.



Цель: снизить ущерб от лесных пожаров за счет технологий обнаружения и быстрого реагирования

Технологии: новые способы сбора и обработки данных. Автономные системы пожаротушения и пожаропреупреждения

\$11 млн премия

Источник: [X-Prize Wildfire](#)

Изображения сгенерированы нейросетью Сбера Kandinsky 2.2



7

Что происходит
в России?



Фонд «Сколково» — драйвер развития российской индустрии сервисной робототехники

52

компаний составляют российскую индустрию сервисной робототехники, из них:

40 (77%)

компаний производят потребительскую робототехнику

14 (27%)

компаний производят профессиональных сервисных роботов

! В настоящее время централизованный сбор данных о состоянии робототехники в России не ведется с 2019 г.

* Центр прекратил работу в 2017 году

Источник: [RoboJobs](https://robojobs.ru/)

С 2012 г. в Сколково функционирует Центр робототехники, ставший основой **признанного в мире кластера робототехнических компаний**



Российская индустрия сервисной робототехники представлена 52 компаниями, многие из которых базируются в высокотехнологичной бизнес-зоне Сколково в Москве. Фонд «Сколково» был создан в 2010 году, и компании, получившие поддержку и существующие до сих пор, теперь считаются действующими. В настоящее время только 5 компаний (10%) считаются стартапами, 40 компаний (77%) производят профессиональных сервисных роботов, а 14 компаний (27%) занимаются потребительскими роботами.





8

Предложения





Предложения

Стимулирование спроса
и передовых разработок в робототехнике

Экономическое стимулирование

Задачи и перспективы до 2030 г.

Мотивация
частного бизнеса



Сохранение высококвалифицированных кадров

Распространение налоговых льгот и иных преференций на робототехнические компании

Дисконт за риск внедрения

Субсидирование расходов компаний на первые внедрения роботов; кредитной ставки на роботизацию производства; затрат на «робот как услуга» или лизинг роботов

Вознаграждение за применение ПатентБокса

Освобождение от налоговой нагрузки дельты (экономии или доп. выручки), полученной за счет внедренных робототехнических решений на базе собственных патентов

Наращивание производства и компетенций

Задачи и перспективы до 2030 г.

Координация
и гармонизация
производства в РФ



Дизайн-центры на базе университетов с региональной сетью

Создание стимулирующей среды на базе «наука-производство-бизнес» для ускоренного создания робототехнических решений и наращивания практических навыков выпускников вузов

Госзаказ на роботизацию приоритетных индустрий

Корректировка существующих и новых отраслевых госпрограмм на предмет роботизации отраслей, включая КПЭ на заказ и внедрение роботов, механизмы взаимодействия и координации и др.

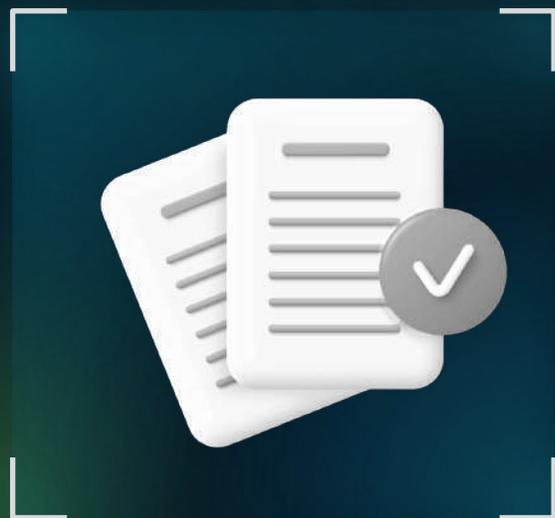
Квалифицированный заказчик и координатор по роботизации

Формирование центров компетенций на базе ключевых участников рынка с целью синхронизации и координации взаимодействия «разработчики-производители-потребители»

Научная коммуникация и координация

Задачи и перспективы до 2030 г.

Пересмотр деятельности
в РФ и в мире



Единый демонстрационный центр

для выставки и продвижения решений стартапов, университетов и пр.; систематизации инструментов поддержки; ведения единой базы участников и их результатов

Единый координационный центр

для оценки потенциала межотраслевых применений, выявления возможных дублирований, ведения базы внедренных проектов и их результатов

Сквозные технологические конкурсы

с единой идеологией для участия представителей от разных организаций, позволяющие стимулировать накопление компетенций, развитие платформ, совершенствование кода за счет значимого поощрения и обязательств по раскрытию технологий победителя (аналог DARPA Challenge)

Ежегодная конференция международного уровня*

для обсуждения актуальных междисциплинарных проблем внедрения робототехники и передовых направлений исследований

Участие в китайской конференции World Robotics Conference 2023

*до 2019 г. проводилась конференция Skolkovo Robotics около 10 тыс. участников ежегодно



Предложения

Интеграция робототехники в науку,
образование и бизнес

Образовательная робототехника STEAM

С помощью робототехники и для робототехники

1 Роботы как наглядное пособие

инструмент во всех школах (средняя, высшая) для изучения программирования, физики, математики, data science, технологий, искусства и других дисциплин



2 Роботы как основа проектной деятельности

для подготовки школьников к изучению в вузах специальностей, связанных с беспилотниками, роботами и другими автономными системами



Изображения сгенерированы нейросетью Сбера Kandinsky 2.2

50 лет назад отмечена важная роль физических устройств (роботов), помогающих детям лучше осваивать STEAM-программы

Технологические конкурсы способствуют созданию новых команд, способных решать сложнейшие инженерные задачи



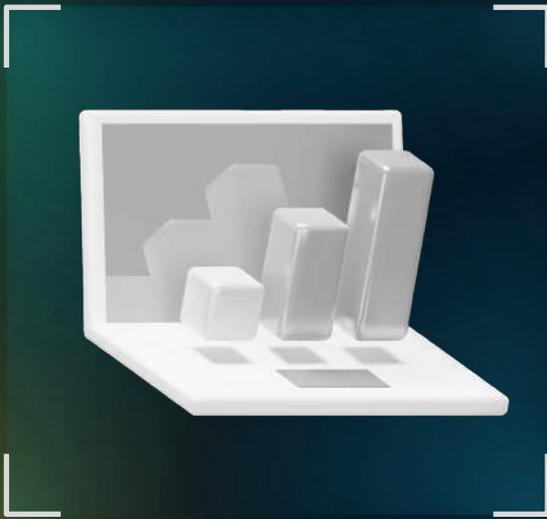
Этой деятельности способствуют робототехнические соревнования: Евробот, кубок РТК и другие

Проект, созданный молодыми исследователями Сбера на одной из летних школ, впоследствии получил статус лучшего патента России



Создание инфраструктуры для решения социальных и бизнес-задач

Обучение,
ориентированное
на решение
практических задач



Соревнования разных типов

Регулярные и финансируются государством в достаточной мере для вовлечения разных групп стейкхолдеров

Программа технологических конкурсов со значимыми целями

Одной программы UpGreat (НТИ) недостаточно

Проведение национального конкурса по антропоморфной робототехнике

Возможная задача — работа на Луне

Развертывание широкой программы стажировок преподавателей школ и вузов в технологических компаниях

Стимулирование обмена лучшими практиками

Задачи и перспективы до 2030 г.

Создание
эффективной
образовательной
среды



Обязательное участие вузов в международных и российских соревнованиях

в том числе в конкурсах НТИ

Поддержка студенческих объединений

КБ, лабораторий, совместных научных проектов, ориентированных на инициативы с практической реализацией

Стимулирование использования практики Open Source в образовательной среде

для ускорения распространения знаний (в рамках соревнований и государственных грантов)

Проектно-ориентированный подход в инженерном образовании: работающий результат важнее бумажной работы



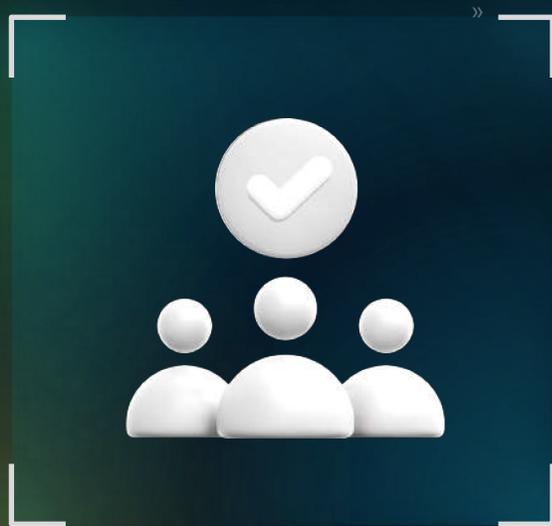
Предложения

Создание исследовательского
консорциума «Робототехника»

ИК «Робототехника» — драйвер индустрии и источник кооперации науки с бизнесом

Задачи и перспективы до 2030 г.

Притяжение
лучших



Стратегическая цель – создание антропоморфного робота, превосходящего лучшие мировые образцы:

при участии МФТИ, Сколтеха, ВШЭ, МГУ, МИСИС, ИТМО

Собственная программа технологических конкурсов

(например, XPrize, UpGreat)

Высокая степень коллаборации при участии университетов и корпораций

Гибридная модель работы, включая собственные лаборатории консорциума и технологические конкурсы



2023 Робототехника

