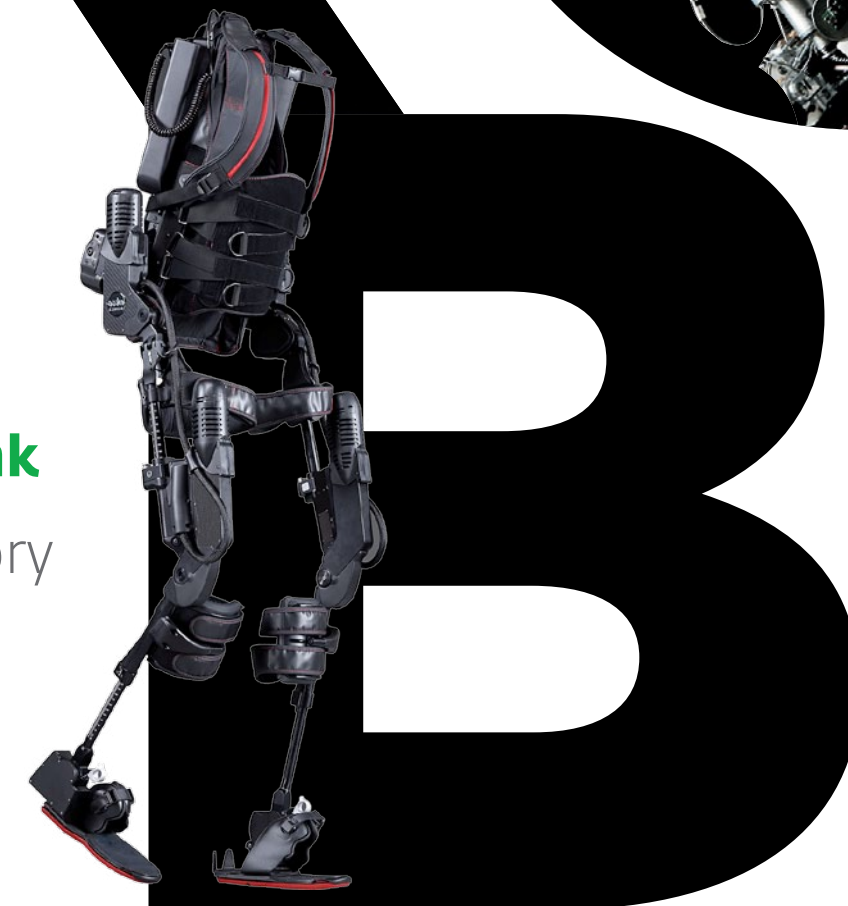
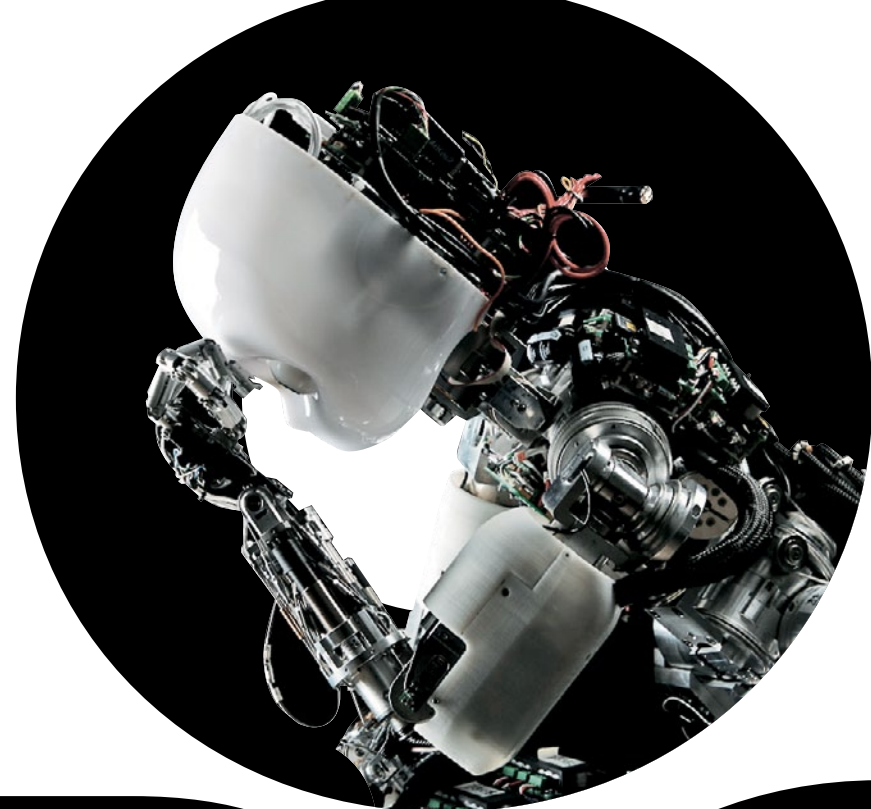
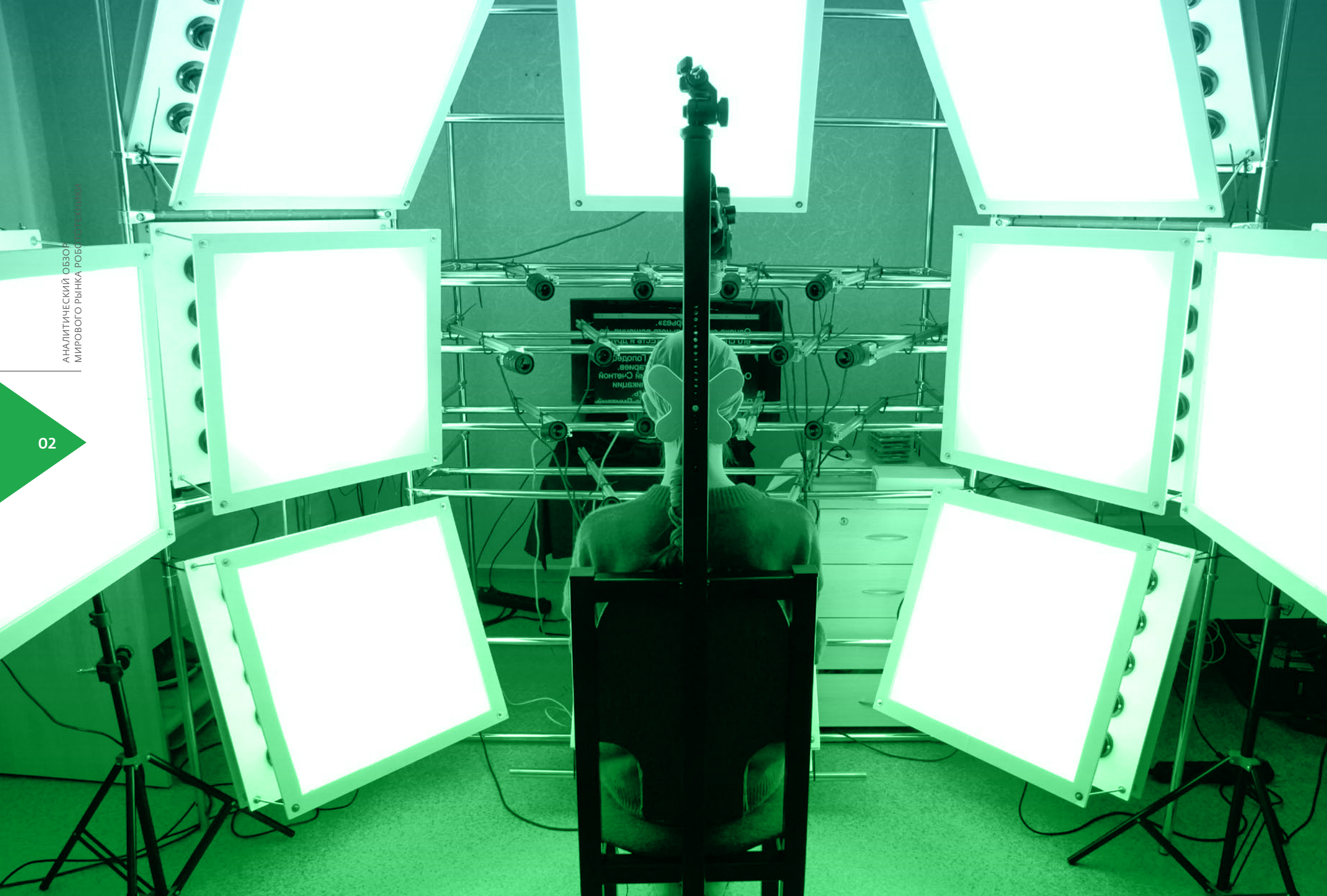


Аналитический
обзор
мирового
рынка
робототехники
2019

Sberbank
Robotics
Laboratory





Содержание

01	Мировой рынок робототехники	09
02	Тренды и образ будущего	39
03	Обзор робохабов и робостартапов	89
04	Робототехника в России	135
05	Искусственный интеллект в робототехнике	168
06	Этика и нормативное регулирование	214
07	Календарь мероприятий	256



Максим Акимов

Заместитель Председателя
Правительства РФ

Годовой обзор робототехники Сбербанка является глубоким и тщательным источником данных

по робототехнике для всех, кто вовлечён в реализацию сквозных цифровых технологий. Объективное мнение можно сформировать только на основе беспристрастного суждения и тщательного анализа.

Я рекомендую этот обзор всем, кто хочет заглянуть в завтрашний день робототехники и искусственного интеллекта.



Герман Греф

Президент, Председатель
Правления ПАО Сбербанк

Главная задача Лабораторий Сбербанка — смотреть на «сегодня» из перспективы завтрашнего дня. Мы стремимся подсказывать инженерам и предпринимателям направления, которые могут

стать настоящим прорывом в ближайшее время. Наш свежий годовой обзор по робототехнике как раз решает эту задачу: он анализирует возможности, над которыми следует сегодня работать специалистам в сквозных технологиях (Big Data, AI, Robotics, VR и AR и другие). Отличительной чертой этого выпуска является совместная работа наших робототехников и экспертов по искусственному интеллекту, которым удалось раскрыть тему взаимодействия этих двух областей.



Александр Ведяхин

Первый заместитель Председателя
Правления ПАО Сбербанк

2019 год должен стать переломным для российских высоких технологий — готовится к выходу национальная стратегия в области искусственного интеллекта, на государственном уровне обсуждаются возможные пути развития робототехники. Эти высокотехнологичные направления будут определять будущее всего мира. Говоря о тенденциях, мы прежде всего должны понимать, что робототехника

будет развиваться во многом за счёт всё большего внедрения технологий искусственного интеллекта. Решения со встроенным ИИ, которые рассматриваются в данном обзоре, широко применяются в робототехнике. Некоторые из них являются прототипами, а некоторые уже стремительно входят в повседневную жизнь, и люди смогут ими пользоваться уже в ближайшее время.

Исследователям ещё предстоит решить ряд важных задач в области интеграции технологий робототехники и ИИ, чтобы сделать роботов более эффективными и полезными для нас. Представляем аналитический обзор, своего рода полезную настольную книгу для всех, кто хочет узнать о робототехнике и применении ИИ в ней.



Станислав Кузнецов

Заместитель Председателя
Правления ПАО Сбербанк

В прошлом году мы впервые в России опубликовали аналитический обзор, посвящённый всем аспектам современной робототехники. Эта работа получила много хороших отзывов.

Поэтому в 2019 году мы более тщательно подошли к подготовке обзора и рассмотрели не только вопросы, связанные с робототехникой, но и смежную технологию искусственного интеллекта и то, как она влияет на развитие робототехники.

В обзор также вошли вопросы нормативного и законодательного регулирования робототехники. Уверен, что обзор будет полезен для наших партнёров, клиентов и всех, кто интересуется современными технологиями.



Александр Кулешов

Ректор Сколковского института
науки и технологий

Сегодня масса различных по назначению и часто совершенно не связанных между собой сущностей называют роботами и относят к так называемой робототехнике.

В отличие от этого размытого и неконструктивного определения понятие «мобильной робототехники» имеет совершенно точный смысл и ясно очерченную

область применения, а главное, декомпозируется на ряд математических и механических задач с понятными постановками.

Именно поэтому данное направление быстро и успешно развивается, и наверняка именно здесь следует ждать больших прорывов, которые смогут резко изменить наше существование.

Предлагаемый обзор робототехники является хорошо структурированным инструментом, который поможет внимательному читателю сфокусироваться на правильных направлениях.

Резюме

- 01 Что происходит на рынке современной робототехники?
- 02 Как развиваются производители робототехнических решений?
- 03 Какие технологии являются приоритетными для развития и внедрения?
- 04 Как развивается и применяется искусственный интеллект для роботов?
- 05 Какие этические и юридические аспекты необходимо учитывать при внедрении робототехнических решений?
- 06 Изменилась ли ситуация на российском рынке?

Ответы на эти и ряд других вопросов читайте в нашем обзоре.

Человечество ухитрилось разогнать технологический прогресс до такой степени, что, как писал Льюис Кэрролл, чтобы просто оставаться на месте, надо бежать сломя голову, а чтобы куда-то попасть, надо бежать вдвое быстрее. Роботы уже с нами, они среди нас, они собирают автомобили, которые мы водим, и телефоны, которые сопровождают нас повсюду. Роботы пылесосят наши полы и сортируют наши посылки, патрулируют территории и помогают хирургам проводить операции. Роботы становятся умнее, они уже умеют узнавать нас в лицо и учатся общаться с нами на понятном нам языке.

Можно ли сказать, что «робобудущее» уже наступило? Нет, будущее только начинается, и всё самое интересное ждёт нас впереди. Более того, мы принимаем в его приближении самое активное участие. Мы пристально наблюдаем за развитием технологий, за изменением восприятия роботов человеческой цивилизацией, за усложнением и расширением самого понятия «робот».

За время, прошедшее с момента публикации нашего предыдущего отчёта, в индустрии робототехнических решений произошли серьёзные события: были достигнуты рекордные результаты по инвестициям в стартапы, прошло несколько крупных слияний и поглощений, некоторые рыночные ниши почти достигли уровня насыщения, целый ряд производителей

прекратили свою деятельность, и появились новые. Мы рассмотрели произошедшие за год изменения тех стартапов, которые представляли в предыдущем обзоре, насколько успешно они работали, их новые разработки и территориальную экспансию. Также мы выбрали для представления ряд новых перспективных стартапов-разработчиков робототехнических решений различного назначения.

В разделе, посвящённом российскому рынку робототехники, мы серьёзно пересмотрели список сильных и слабых сторон отечественного рынка и, самое главное, существующих для него возможностей и угроз. Российская робототехника обладает значительным неосвоенным потенциалом, и мы обязаны сделать всё возможное для его реализации. Сейчас мы находимся на развилке истории — самое время для принятия решения, будем мы догонять лидеров или же играть на опережение.

В то же время мы пришли к пониманию, что обзор должен быть расширен и включать в себя не только данные по рынкам робототехнических решений, но и рассматривать робототехнику с других точек зрения. Эксперты Лаборатории робототехники Сбербанка выделили ряд перспективных направлений, которые имеют приоритетное значение для успешного развития отечественных разработок. Список включает

в себя 11 субтехнологий: разработка новых материалов, технологии осязания роботов, программные решения, новые типы приводов и так далее. Также в обзоре рассматриваются вопросы внедрения в робототехнику искусственного интеллекта и этических-правовых аспектов использования роботов. Соответствующие разделы были подготовлены совместно с Центром развития компетенций по исследованию данных ПАО Сбербанк и автономной некоммерческой организацией «Робоправо».

Этот отчёт будет полезен широкой аудитории: студентам и преподавателям вузов, специализирующимся в робототехнике, искусственном интеллекте и смежных системах; предприятиям и организациям, вовлечённым в программу «Цифровая экономика»; руководителям предприятий, особенно инновационных подразделений и лабораторий; малым инновационным компаниям и стартапам, инвесторам. И всем энтузиастам робототехники и искусственного интеллекта.

Слава роботам!



01

Мировой рынок робототехники

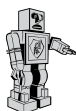
Сближение, слияние и комбинация различных дисциплин, научных областей и технологий приводит к конвергенции определений и «размыванию» границ применения устоявшихся терминов.

1. Что такое робот

Умные машины, похожие на людей, рождались в воображении писателей и создавались руками мастеров или инженеров в течение веков. Однако появление термина «робот»* в 1921 г., когда чешский писатель Карел Чапек впервые употребил это слово в своей пьесе «Р.У.Р.» («Россумские универсальные роботы»), не сделало саму суть этой технологии более понятной. Человекоподобный механизм, игрушка, автоматон, электронный двойник, копирующий определённые движения тела, помощник для людей с ограниченными возможностями, эффективный работник. Мы можем согласиться со всем вышеперечисленным.

Также это и «длинный кулак» в военном применении, и суперточный скальпель хирурга, и безопасный мобильный инструмент для работы в экстремальных или некомфортных условиях. Мы понимаем, данное перечисление весьма ограничено. Робот — это функциональное продолжение человека. От простой физической «органопроекции» — инструментов как продолжения тела человека — мы переходим к роботам — инструментам, у которых появляется самообучающийся искусственный интеллект. То есть инструментам с потенциальной возможностью к саморефлексии. Мы предполагаем, что эта тенденция только усилится в ближайшем будущем.

Но обратим внимание, прошло почти 100 лет, и до сих пор не появилось общепринятого определения



* Термин происходил от чешского слова, обозначающего «тяжёлая работа» или «каторга».



По мнению лауреата Нобелевской премии по экономике Пола Кругмана, с экономической точки зрения можно считать роботом любой объект, который использует технологии для выполнения работы, которую до этого выполняли люди.

Источник: <https://nytimes.com>

Источник:
Arseny Togulev,
Unsplash

робота. Это было сложно сделать в первую очередь потому, что понимание робота менялось по мере развития технологий, обрстая всё новыми смыслами. Робот, который 50 лет назад считался высокоразвитым, сегодня является обыденным решением.

Компромиссным можно считать текущее определение Международной федерации робототехники (*International Federation of Robotics*, далее — *IFR*): «Робот — это рабочий механизм, программируемый по нескольким осям с некоторой степенью автономности и способный передвигаться в пределах определённой среды, выполняя поставленные задачи».

В этом определении учитываются особенности роботов, отличающие их от других механических устройств, — автономность и самостоятельное выполнение поставленной задачи. Робот способен самостоятельно двигаться в среде и адаптироваться под поставленные задачи. Например, манипулятор, забирающий коробки с конвейерной ленты, — робот. А устройство, распределяющее коробки между двумя конвейерными лентами, — не робот. Посудомоечная машина, которая моет посуду, — не робот. Но если она может автоматически загрузить и/или выгрузить посуду, то она уже может считаться роботом.



По мнению известного учёного-робототехника Родни Брукса, робототехника ещё даже не прошла фазу детства. С присущим

ему чувством юмора он формулирует четыре большие технологические проблемы современной робототехники, которые необходимо преодолеть для того, чтобы роботы получили более широкое распространение в нашей экономике. Эти барьеры Родни Брукс выражает через антропоморфизм:

- *роботы должны научиться распознавать любые объекты окружающего мира хотя бы на уровне двухлетнего ребёнка;*
- *роботы должны научиться распознавать естественный язык хотя бы на уровне четырёхлетнего ребёнка;*
- *роботы должны обладать ловкостью рук и тонкой моторикой на уровне шестилетнего ребёнка;*
- *роботы должны иметь социальные навыки коммуникации с людьми хотя бы на уровне восьмилетнего ребёнка.*

Источник: <https://rodnebrooks.com>

Однако, по нашему мнению, в таком описании не хватает одной составляющей, характерной для роботов нового поколения, — способностей к распознаванию изменяющейся ситуации, рефлексии наблюдаемых изменений и активному влиянию на среду, окружающую робота и объекты его деятельности. К примеру, робот должен не просто забирать с конвейера все предметы подряд, но и различать их по размеру и форме и сортировать в разные корзины.

Быстрое изменение технологий приводит к быстрому устареванию стандартов и определений. Терминологическая неопределённость в отношении роботов вынудила нас в прошлогоднем отчёте использовать собственное, функциональное определение робота, которое мы назвали *STA*-определением — от слов *Sense, Think, Act*. Устройство можно назвать роботом при условии одновременного соблюдения следующих условий.

01. *Sense*: робот обладает способностью воспринимать окружающий мир с помощью сенсоров. Такими сенсорами могут быть микрофоны (сонары), камеры (всех областей электромагнитного спектра), различные электромеханические сенсоры (акселерометр) и прочее.

02. *Think*: робот обладает способностью интерпретировать (понимать) сигналы, которые он получает от сенсоров, наблюдающих физический мир, строить и адаптировать модели поведения и принимать решения в зависимости от выбранных моделей поведения. Эта способность может быть реализована разными способами: бортовым вычислителем робота, «интеллектуальным» облаком или человеком, который управляет роботом с помощью телеуправления или тактильного интерфейса.

03. *Act*: робот обладает способностью воздействовать на физический мир любым результативным способом.

Ускорение развития робототехники отражается и в эволюции стандартов и технологий. Традиционный подход *IFR* к разделению роботов на промышленных и сервисных (рисунок 1) зачастую не отражает взаимного проникновения

технологий: сервисные роботы всё чаще начинают использоваться в промышленном окружении, а промышленные роботы много применяются в типично сервисных организациях. В отчёте прошлого года мы обозначили этот тренд как «конвергенция технологий промышленной и сервисной робототехники». Мы предсказываем, что в перспективе ближайших трёх-пяти лет разделение роботов в явном виде на промышленных и сервисных (профессиональных) потеряет всякий смысл с точки зрения категорий: один и тот же робот сможет работать как в цеху, так и в типично сервисном окружении. К примеру, силовые экзоскелеты (см. подробнее в разделе «Тренды и образ будущего») уже широко применяются в машиностроительных предприятиях, хотя и относятся всё ещё к категории сервисной робототехники. Другим примером могут быть роботы-манипуляторы, изначально разработанные для промышленной среды, но успешно внедряемые в сервисные процессы.

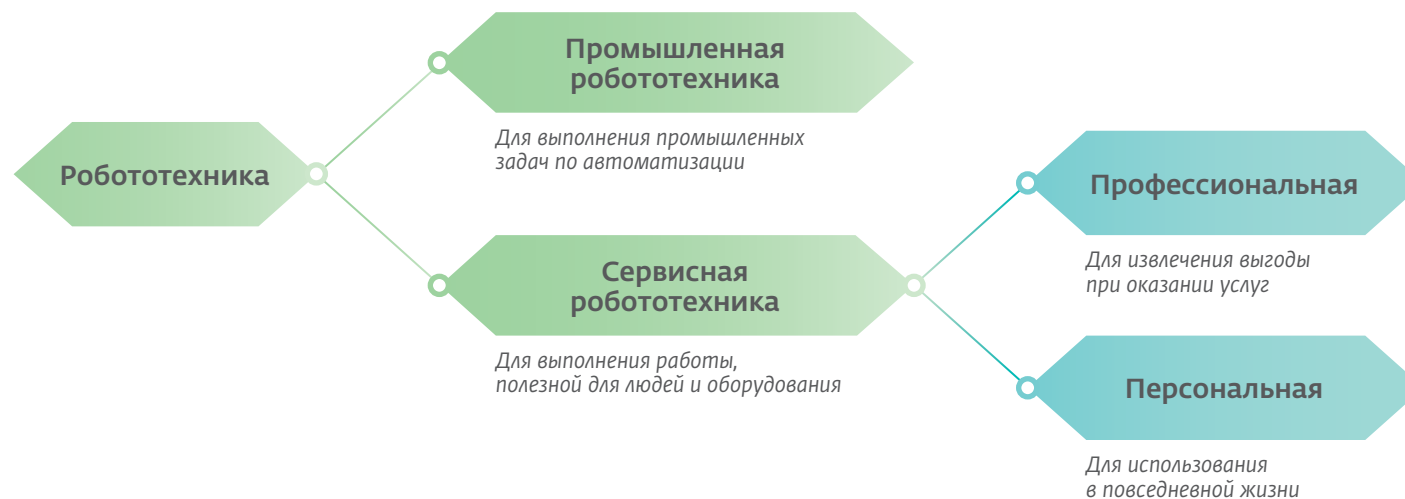
Ровно по этой причине между экспертами международной организации по стандартизации ISO сейчас ведётся серьёзная дискуссия по изменению приведённого выше определения робота. В новом варианте, который обсуждается пока внутри рабочей группы соответствующего технического комитета ISO, определение робота не ограничено заданной средой, поэтому робот



Профессор Швейцарской высшей технической школы Цюриха Роберт Риенер (Robert Riener) считает роботом любое механическое устройство, которое демонстрирует человекоподобное поведение, способно передвигаться, выполнять манипуляции с предметами, воспринимать окружающую среду и взаимодействовать с ней.

Источник: <https://twitter.com>

Рисунок 1. Классификация робототехники



Источник: IFR

и рассматривается как действующий по программе механизм, обладающий определённой автономией и выполняющий перемещение, манипуляции или позиционирование себя либо прочих объектов в пространстве¹.

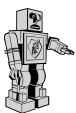
Увеличение темпов роботизации и автоматизации промышленности и сервисного сектора приводит к тому, что общество начинает задумываться о социальных последствиях таких изменений. Несмотря на то что роботы пока захватывают власть лишь в плохих фантастических книгах

и голливудских кинофильмах, общественные институты пытаются уже сейчас предусмотреть способы контроля над роботизацией. Примером такой защитной реакции общественных институтов могут служить отечественные и международные законодательные и общественные инициативы по разработке законодательной базы и правового определения роботов.

Общественные организации, политики и академическое сообщество поднимают вопросы о том, может ли робот потенциально

считаться субъектом правовых отношений, что требует чёткого определения понятия «робот» с юридической точки зрения. Так, по мнению экспертов юридической компании *Dentons Europe*², правильным подходом к определению понятия «робот» является выделение его ключевых характеристик:

- механизм;
- физическое начало;
- искусственность;
- достаточная степень автономности действий, ключевая характеристика, позволяющая определить отличие робота от любого иного механизма.



Под автономностью эксперты компании подразумевают программируемость, выполнение роботом определённых для него задач «по предназначению»; возможность восприятия окружающей среды, которая может обеспечиваться системой сенсоров; взаимодействие с окружающей средой, включая пользователя; наличие привода, который обеспечивает физическое функционирование. Легко заметить, что предложенное юридическое определение во многом перекликается с текущим вариантом определения *ISO*.

2. Промышленная робототехника растёт шестой год подряд

Технологический вектор постиндустриального общества определяется переходом на полностью автоматизированное цифровое производство с применением самоорганизующихся киберфизических систем. Важной частью таких систем являются автономные промышленные роботы, которые уже стали экономически выгодной альтернативой человеческому труду в расширяющемся спектре отраслей. По оценке *McKinsey Global Institute (MGI)*, экономия операционных расходов от автоматизации в целом может составлять от 15% до 90% в зависимости от отрасли.

В большинстве отраслей экономически развитых стран роботы уже доказали свою эффективность, что привело к повышению глобального спроса на них. По оценкам *IFR*, в 2017 г. продажи промышленных роботов увеличились на 31% по сравнению с 2016 г. Всего было продано 381 335 роботов (рисунок 2).

Общий объём рынка промышленных роботов в 2017 г. составил \$16,7 млрд без учёта стоимости программного обеспечения (рисунок 3). С учётом программного обеспечения оценка рынка ещё выше и составляет более \$48 млрд³. Хотя финальные данные за 2018 г. ещё не представлены, но, по предварительной информации, полученной нами от *IFR*, рост продаж роботов в 2018 г. составил от 1% до 10% по сравнению с 2017 г. Таким образом, оценка количества проданных в 2018 г. промышленных роботов составляет до 421 000⁴.



Несмотря на то что общее число установленных в мире роботов едва превышает 2 млн единиц, активно идущая роботизация оставила заметный след в мировой экономике. Всемирный экономический форум (*The World Economic Forum, WEF*) оценивает в 29% долю мирового производства, которое уже роботизировано в некоторой степени. Распространение роботов будет продолжаться, и к 2021 г. общее количество установленных промышленных роботов удвоится по сравнению с сегодняшним днём.

Рост спроса на роботов сопровождается снижением стоимости на них: средняя цена за одного промышленного робота снизилась с \$45 500 в 2016 г. до менее чем \$44 000 в 2017 г. При этом доля «недорогих» роботов в общем объёме установок в 2017 г. увеличилась по сравнению с предыдущими годами.

Столь драматический рост рынка промышленной робототехники вызван рядом факторов. Главный из них — продолжающаяся масштабная модернизация китайской промышленности: около трети всех мировых продаж промышленных роботов приходится на Поднебесную. Другой фактор, способствующий роботизации, — применение 3D-печати композитными материалами и других новых технологий для производства роботов, которые делают их дешевле, доступнее и качественнее.

Ещё одним важным фактором является значительный рост инвестиций в эту отрасль. По данным *The Robot Report (TRR)*, инвестиции в робототехнику продолжают расти быстрыми темпами. Общая сумма финансирования по десяти крупнейшим сделкам в 2018 г. превысила \$11,5 млрд. Для сравнения, десять крупнейших сделок 2017 г. в сумме составили \$700,6 млн (рост более чем в 16 раз) [см. подробнее об инвестициях в третьем разделе обзора].

Наравне с инвестициями увеличивается количество патентов на робототехнические разработки. По данным компании *IFI Claims*, занимающейся мониторингом и исследованиями в области патентования, за последнее десятилетие количество заявок, связанных с роботами, утроилось. Китай лидирует в гонке патентов — на него приходится 35% поданных заявок, что в два раза больше занимающей второе место Японии⁵.

Рисунок 2. Динамика продаж промышленных роботов в мире в 2009–2017 гг. и прогноз на 2018–2021 гг., тыс. единиц

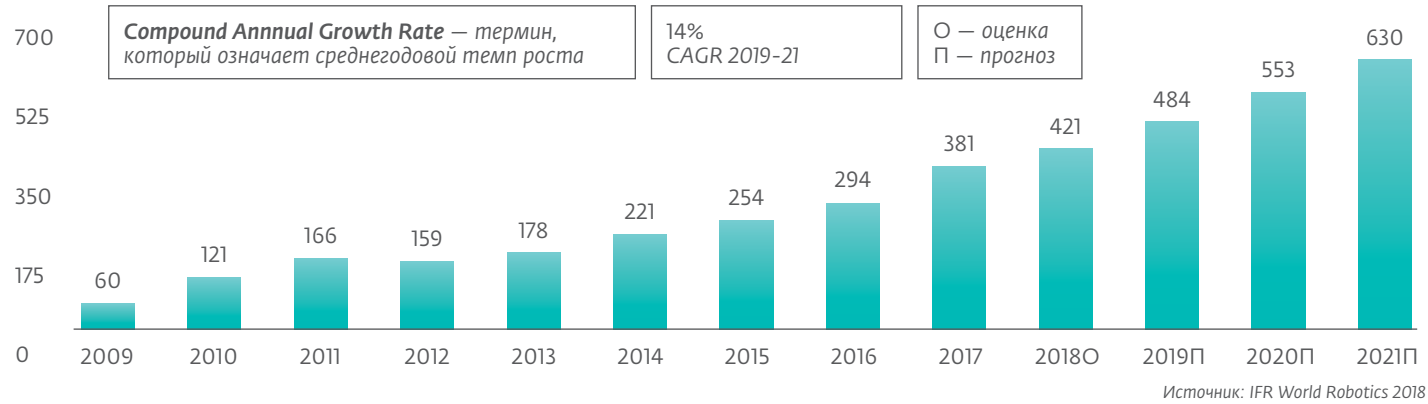


Рисунок 3. Ежегодный рост объёма мирового рынка промышленных роботов в стоимостном выражении за 2012–2017 гг., \$ млрд

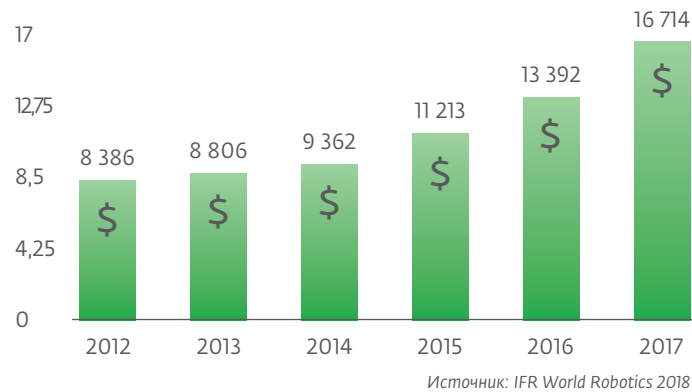


Рисунок 4. Средняя стоимость за единицу промышленного робота, \$

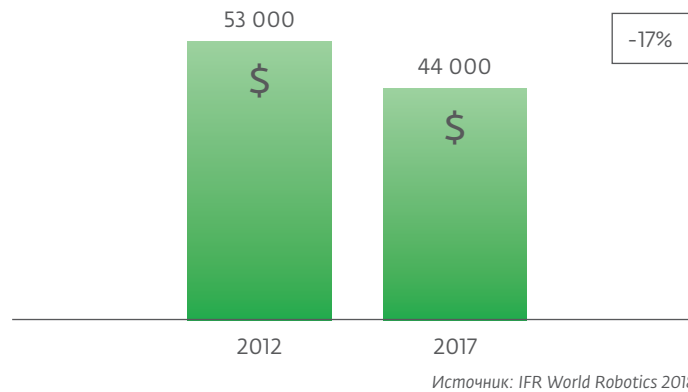
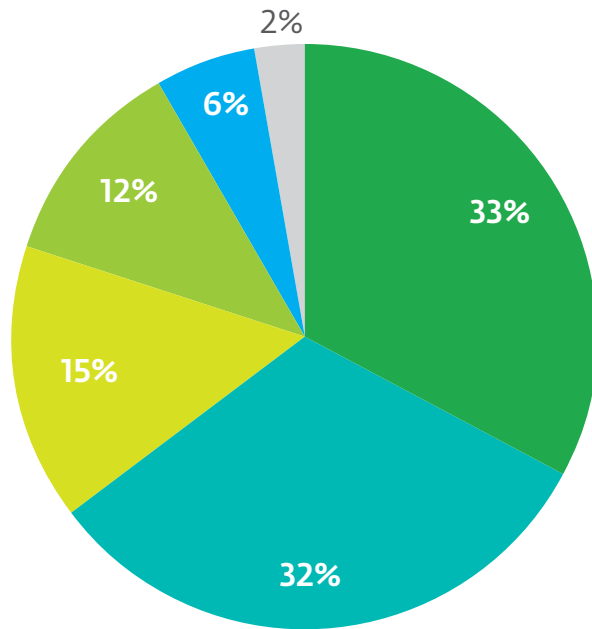


Рисунок 5. Распределение поставок роботов по отраслям обрабатывающей промышленности в 2017 г.



- Автомобильная промышленность
- Электротехника/электроника
- Прочее
- Металлургия
- Производство химических продуктов и пластмассы
- Пищевое производство

Источник: IFR World Robotics 2018



6. Робот NAO для образования и исследований. Источник: <https://uornews.port.ac.uk>

7. Коллаборативный робот KUKA работает вместе с человеком на заводе Ford. Источник: <https://blog.rockfordsystems.com>



Рост рынка промышленной робототехники продолжится до 2021 г. и далее. Согласно ранее приведённым данным *IFR*, с 2019 по 2021 гг. будет продано ещё почти 1,7 млн устройств. Ежегодно продажи могут расти в среднем на 14%. Другая исследовательская организация, компания *IDC*, даёт более оптимистичный прогноз. Их аналитики видят объём рынка промышленной робототехники к 2022 г. превышающим \$210 млрд с учётом программного обеспечения. На наш взгляд, это не лишено оснований, так как основными факторами динамики станут постепенное снижение цен на робототехнику, высокий спрос на продукцию и продолжающееся увеличение инвестиций. Нет никаких предпосылок к тому, что влияние этих факторов уменьшится.

Автомобильная промышленность и производство электроники потребляют почти две трети всех выпускаемых в мире промышленных роботов. На эти отрасли приходится, как и в прошлом году, 33% и 32% всех продаж соответственно (рисунок 5).

Автомобилестроение претерпевает большие изменения и поэтому требует новых, более совершенных роботов. В связи с программой Евросоюза по сокращению выбросов к 2030 г. европейские автопроизводители планируют увеличение производства автомобилей с низким

уровнем выбросов углекислого газа и постепенно переходят на полностью электрический транспорт. Все это на фоне высоких требований потребителей к качеству и кастомизации продукции. В результате продажи роботов в автомобильной промышленности выросли в 2017 г. на 22%.

Важным следствием «массовой кастомизации» автомобилестроения стала практика, когда человек работает «бок о бок» с роботами в режиме коллаборации. Именно поэтому рост коллаборативных манипуляторов для безопасной и продуктивной работы в заводских условиях является наиболее заметным фактором роста промышленных роботов. Например, на заводе *Ford* в Германии роботы *Kuka* работают сообща с людьми над установкой амортизаторов в автомобиле *Ford Fiesta*.

Похожие примеры встречаются на заводах *Mercedes*, *BMW* и других ведущих автопроизводителей. Прямое взаимодействие робота и человека в условиях недетерминированного окружения стало признаком успешной и современной организации производственных процессов.

На протяжении многих лет спрос на роботов в автомобильной промышленности во многом определял общий поток инвестиций в установку роботов в мире. Однако в последние годы статус



главного рынка робототехники перешёл в другую отрасль. В странах-лидерах робототехнической отрасли — Японии, Китае, Южной Корее — главным драйвером спроса на робототехнику стало производство электроники. Именно на **электронную промышленность** приходится 32% всех мировых поставок роботов. Спрос на роботов в этой отрасли быстро растёт: в 2017 г. продажи увеличились на 33% по сравнению с 2016 г.

По нашему мнению, именно растущий спрос на потребительскую электронику и необходимость автоматизации всего производства, включая производство батарей, чипов и дисплеев, в производстве бытовых товаров будут и дальше оставаться главным фактором глобального роста продаж промышленных роботов, несмотря на то что в абсолютном выражении рост может замедляться. Так, по предварительным данным *IFR*, количество поставок в эту отрасль сократилось в 2018 г. на 8% по сравнению с 2017 г.⁶

Индустрия металлообработки хоть и уступила количественное лидерство, но по-прежнему демонстрирует мощные темпы роста установленных роботов. По данным *IFR*, в 2017 г. продажи роботов в этой отрасли увеличились на 55% по сравнению с 2016 г. и достигли количества более 44 000 единиц во всех подкатегориях: в производстве металлов, металлопродукции, промышленного оборудования.

В число наименее охваченных роботизацией отраслей входят атомная промышленность, судостроение, самолётостроение, добыча полезных ископаемых, сельское хозяйство.

По данным *IFR*, в 2017 г. во всём мире было продано всего 6055 роботов для сельского хозяйства и порядка 300 роботов для добычи полезных ископаемых. Данные по продажам роботов для атомной промышленности, судостроения и самолётостроения вовсе не раскрываются, но, по приблизительной оценке *IFR*, не превышают 1000 единиц.

Причина этого в том, что роботизация данных отраслей всё ещё сложная и дорогостоящая на текущем уровне технологий. Именно поэтому мы ожидаем, что в этих отраслях будут созданы прорывные технологии, появится *next big thing* в робототехнике.

Примечательно, что именно эти пять отраслей являются традиционно сильными в России. Поэтому рост отечественной робототехники можно ожидать именно в них (см. подробнее в разделе «Робототехника в России»).

Географический аспект рынка роботов

Азия по-прежнему является самым быстрорастущим рынком робототехники в мире: в 2017 г. продажи промышленных роботов в регионе увеличились на 37% по сравнению с 2016 г. Рост рынка в 2018 г., по оценкам *IFR*, увеличился на 14% по сравнению с 2017 г. Такой результат обеспечен в первую очередь стремительным развитием экономики Китая. Подробнее об успехах Китайской Народной Республики — далее. Европейский рынок является следующим по величине — продажи промышленных роботов в 2017 г. увеличились на 18%. Рынок Америки (Северной и Южной) растёт медленнее всего — на 12% по сравнению с 2016 г. Более 70% мировых продаж приходится на 5 стран: Китай, Японию, Республику Корея, США и Германию (рисунок 9). Китай — безоговорочный лидер рынка, и об этом говорят следующие факты:

- каждый третий промышленный робот в мире продан в КНР;
- продажи в 2017 г. по сравнению с предыдущим годом выросли почти на 60% (рисунок 10);
- с 2013 г. КНР — лидер по количеству устанавливаемых роботов. В 2017 г. в стране работало уже более 473 000 роботов (+39% к 2016 г.);

- за последние 8 лет плотность роботизации выросла почти в 10 раз — с 11 роботов на 10 000 занятых в промышленности в 2009 г. до 97 роботов на 10 000 занятых в промышленности в 2017 г. В этом году КНР превысила среднемировой показатель плотности роботизации.



Причина такого стремительного роста роботизации Китая — в быстром росте экономики, в особенности автомобилестроения и электронной промышленности. Именно развитие этих двух отраслей (одна — традиционный лидер спроса на роботов, другая — новый лидер) обеспечивает высокий спрос на робототехническую продукцию.

Это становится яснее, если для сравнения посмотреть на соседнее промышленно развитое государство — Южную Корею — в этой стране робототехника достигла насыщения. Продажи роботов в Корею в 2017 г. сократились на 4%. Ключевой причиной стало сокращение спроса со стороны электронной промышленности, так как там достигнуто насыщение.

Быстрый рост производства электроники вызывает рост роботизации и в других азиатских странах. В 2017 г. отмечен значительный рост продаж промышленных роботов во Вьетнаме с 1600 устройств в 2016 г. до 8300 устройств в 2017 г. Это позволило Вьетнаму войти в топ-

Рисунок 8. Динамика продаж промышленных роботов по регионам в 2016–2017 гг. и прогноз на 2018–2021 гг., тыс. шт.

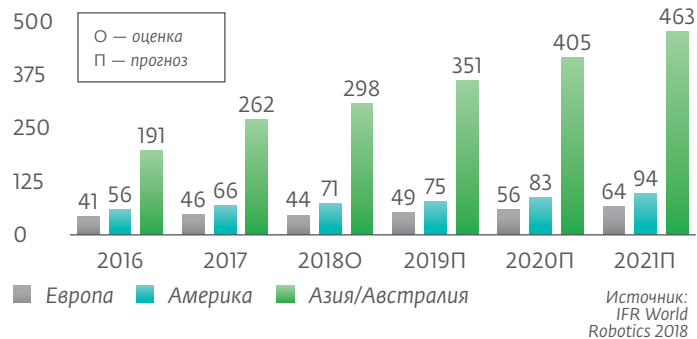


Рисунок 10. Динамика продаж промышленных роботов в Китае, тыс. шт.

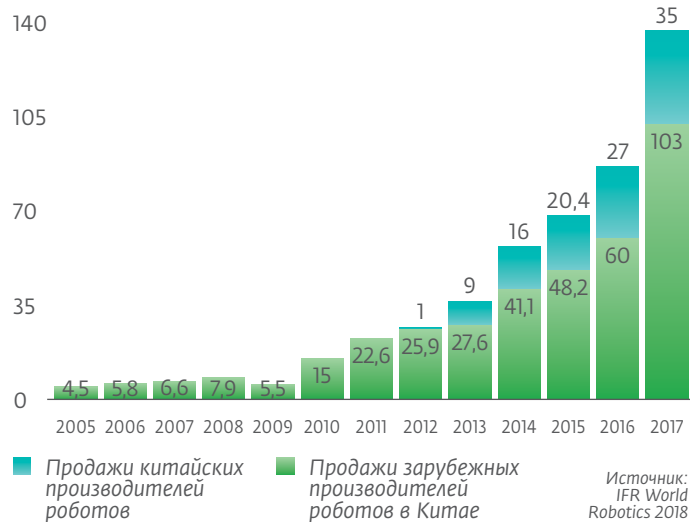
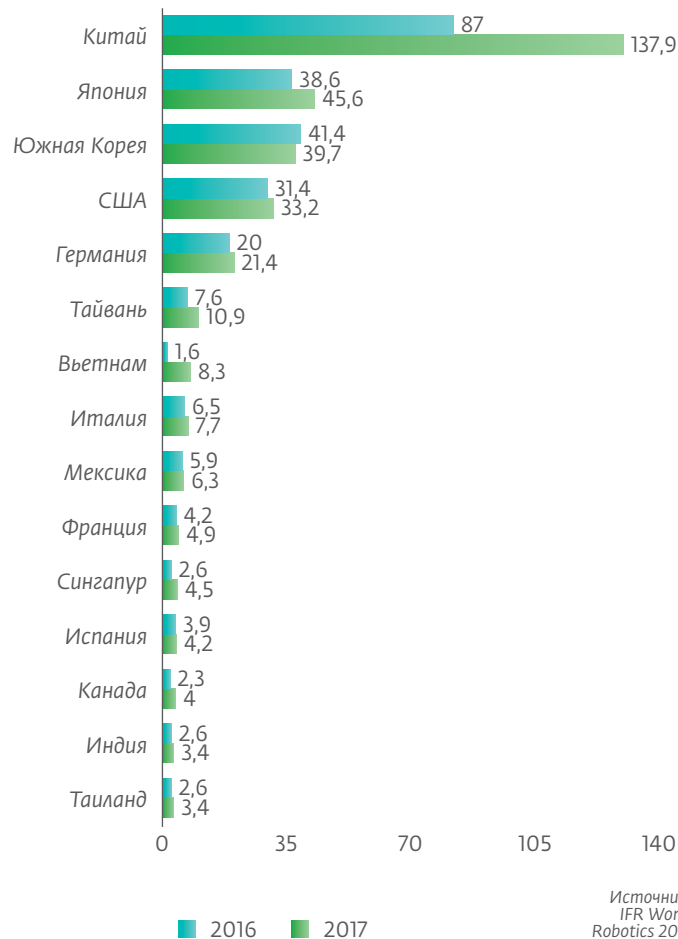


Рисунок 9. Топ-15 стран мира по продажам промышленных роботов в 2017 г., тыс. ед.



10 стран по продажам промышленных роботов в мире. Именно электронная промышленность (контрактное производство электроники) стала главным драйвером такого подъёма.

Мы внимательно изучаем опыт китайских компаний в робототехнике. По нашему мнению, одной из важных особенностей местного рынка является фокус предпринимателей на сообществе разработчиков. Все, кто заинтересован в быстром захвате рынков, создают *development kits* для разработчиков различных решений (как программных, так и аппаратных).

Не жалея никаких средств, действуя, по выражению технологического предпринимателя Ли Кайфу, подобно гладиаторам на древнеримской арене, китайские технологические компании за свой счёт продвигают продукты и сервисы, привлекая к ним разработчиков. Например, компания *iFlyTek*, один из титанов отрасли искусственного интеллекта Китая, благодаря активному продвижению собственного SDK вырастила сообщество разработчиков до 825 000 человек, которые сделали уже 500 000 приложений. Поддержка государства также позитивно сказывается на развитии отрасли робототехники. В 2015 г. была обнародована инициатива *Made in China — 2025*, которая определяет робототехнику как стратегическое промышленное направление. Затем в 2016 г.

Правительство Китая представило амбициозный план развития робототехники⁷, где определяются конкретные технологии и виды роботов, которые необходимо развивать.

Несмотря на национальные успехи Китая, местные производители промышленной робототехники имеют более слабые позиции в сравнении с иностранцами, локализуя производство в КНР. В 2017 г. доля китайских компаний на внутреннем рынке уменьшилась до 25%, по сравнению с годом ранее — 31%. Локализовали свои производства такие международные гиганты, как *ABB*, *Yaskawa*, *Epson*, *KUKA*, *Comau*, в 2015 г. к ним присоединились *Kawasaki* и *Nachi*, в 2016-м — *Rethink Robotics**. Шведско-швейцарская *ABB* планирует возвести к 2020 г. новый завод в Шанхае.

Плотность роботизации в мире растёт год от года. В мире робототехники уже более десятилетия используется весьма полезный индикатор роста рынка — плотность роботизации. Он измеряется как число роботов на 10 000 работников, занятых в промышленности. Этот показатель находится в хорошей корреляции как с состоянием экономического развития, так и темпами роста. По данным *IFR*, в 2017 г. на 10 000 занятых в промышленности по всему миру приходилось в среднем 85 роботов (74 робота — в 2016 г., 66 роботов — в 2015 г.).

* Несмотря на то что сама компания стала банкротом в 2018 г. (об этом в разделе №03 обзора), её патенты и knowhow активно используются в Китае.

Европа, как регион, который начал активно развивать роботизацию в автомобильной промышленности десятилетия назад, в целом имеет наиболее высокую плотность роботизации — 106 роботов на 10 000 занятых в промышленности. Тогда как в США — 91 робот, в Азии — 75 роботов. Лидерство Европы в плотности роботизации объясняется тем, что автоматизация производства является лучшим способом сокращения издержек из-за высокой стоимости труда в регионе.

Однако если рассмотреть темпы роста плотности роботизации, то лидерство переходит к странам азиатского региона — 12% ежегодно, с 2012 г. по 2017 г. В Северной и Южной Америке этот рост составил лишь 9%, в Европе — 5%. Правда, во многом показатели европейского региона ухудшают отстающие в роботизации страны, такие как Россия с её четырьмя роботами на 10 000 занятых в промышленности.

При этом в страновом разрезе мировым лидером по плотности роботизации по-прежнему остаётся Южная Корея, которая увеличила показатель с 631 до 710 роботов на 10 000 занятых в промышленности, доведя этот показатель до насыщения; за ней следуют Сингапур с 658 роботами, Германия с 322 роботами и Япония с 308 роботами (рисунок 13). Корея лидирует благодаря развитым отраслям электроники

и автомобилестроения. Высокая позиция Сингапура объясняется не только быстрыми темпами развития экономики, но и сравнительно небольшими объёмами производственных мощностей в стране. Также в Сингапуре малое количество занятых в обрабатывающей промышленности — около 240 000 работников (по данным Международной организации труда).

Основные производители промышленных роботов

Индустрия промышленной робототехники давно сформировалась, но, несмотря на это, данные о количестве роботов остаются труднодоступными в разрезе производителей. В 2018 г. мы публиковали доступную на тот момент статистику о компаниях-лидерах по количеству произведённых роботов. В 2019 г. статистика не обновилась, поэтому справочно приведём ключевые выводы прошлого года: компании-производители промышленных роботов распределяются строго по трём крупным регионам: Северная и Западная Европа, США, Юго-Восточная Азия. Список лидеров рынка не меняется год от года: доминируют японские компании *FANUC*, *Yaskawa*, *Kawasaki*, *Nachi*, *Denso*, *Mitsubishi*, *Epson*, *Omron*. В первую пятёрку входит шведско-швейцарская компания *ABB* (рисунок 15).

Рисунок 11. Сравнение стоимости часа труда человека и робота (в среднем, весь мир), Евро/час

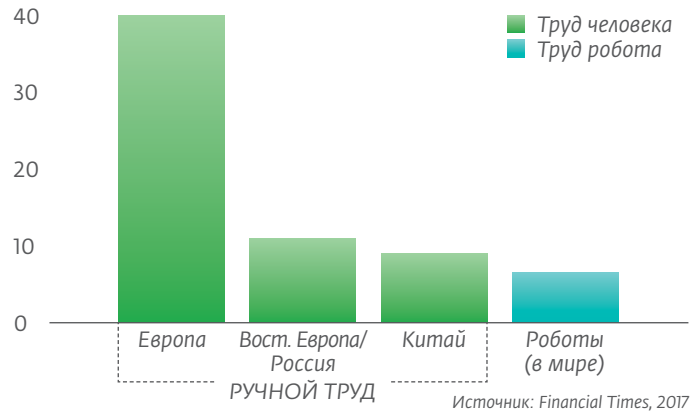


Рисунок 12. Динамика среднемировой плотности роботизации в 2010–2017 гг., число роботов на 10 000 занятых в промышленности

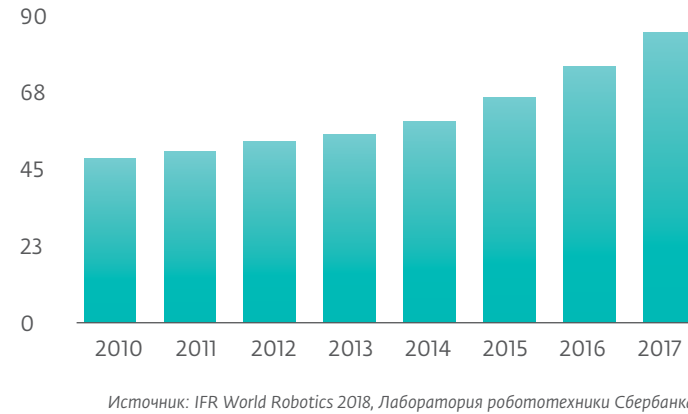
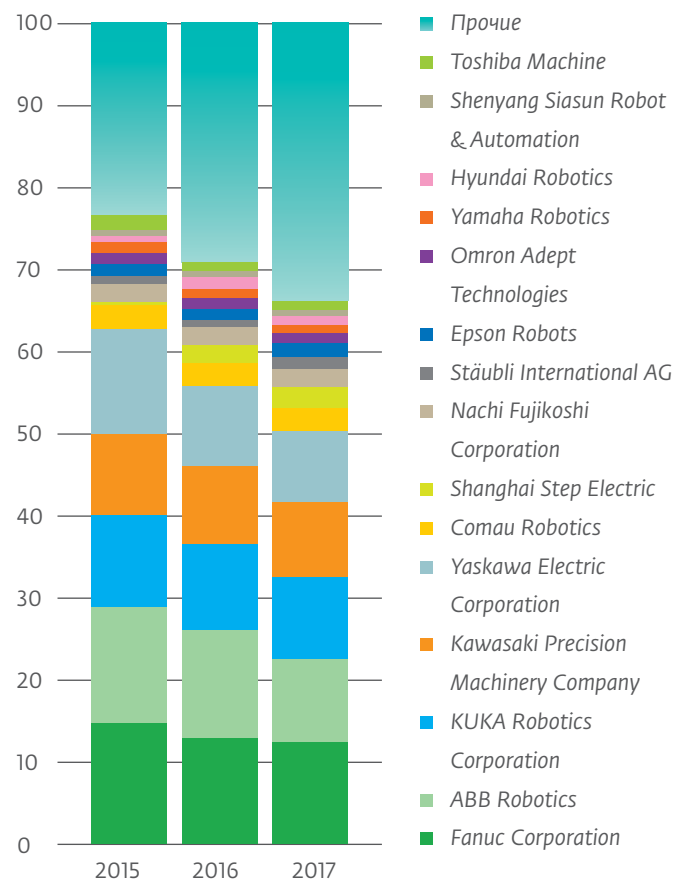


Рисунок 13. Плотность роботизации по странам на конец 2017 г., количество роботов на 10 000 занятых в промышленности



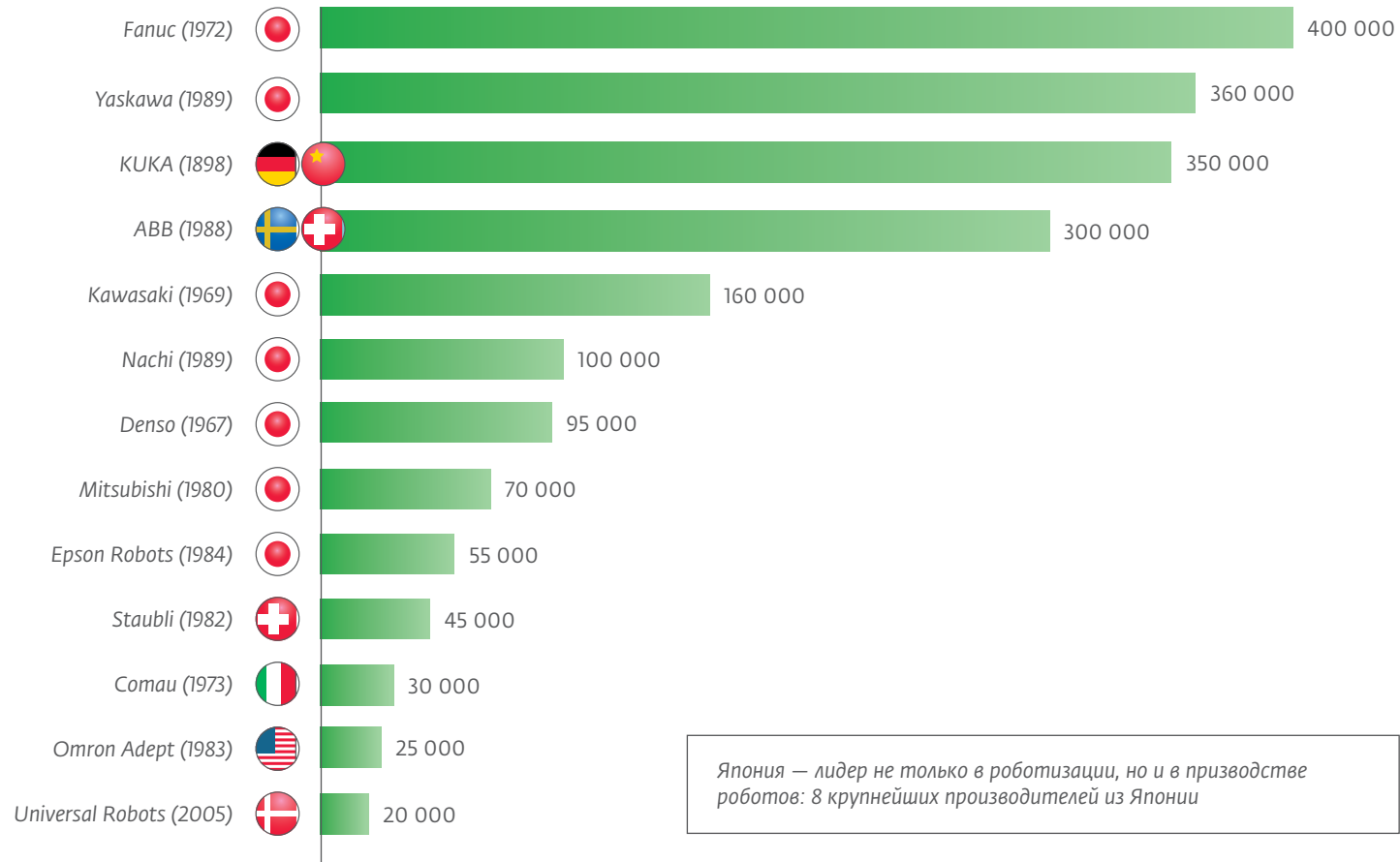
Однако в последнее десятилетие монолитный ландшафт, сформированный крупными игроками рынка промышленных роботов, дал трещину. На сцену выходят новые компании (рисунок 14), обозначенные как «другие». По нашему мнению, это закономерный процесс, поскольку спрос на роботов растёт, а их производство становится доступнее за счёт удешевления материалов и компонентов. Поэтому всё больше стартапов и небольших компаний начинают заниматься направлением, казавшимся ранее бесперспективным для венчурного предпринимательства, — промышленной робототехникой. Например, одна из самых известных робототехнических компаний в мире — *Universal Robotics* — начала свою деятельность в 2005 г. как небольшой университетский стартап с идеей создать компактного робота, которого легко устанавливать и программировать. И, по нашему мнению, таких компаний будет всё больше, хотя далеко не все из них будут успешными.

Рисунок 14. Распределение выручки от продаж промышленных роботов по компаниям в 2015–2017 гг., %. Доля новых игроков растёт



Источник: ABI Research 2018

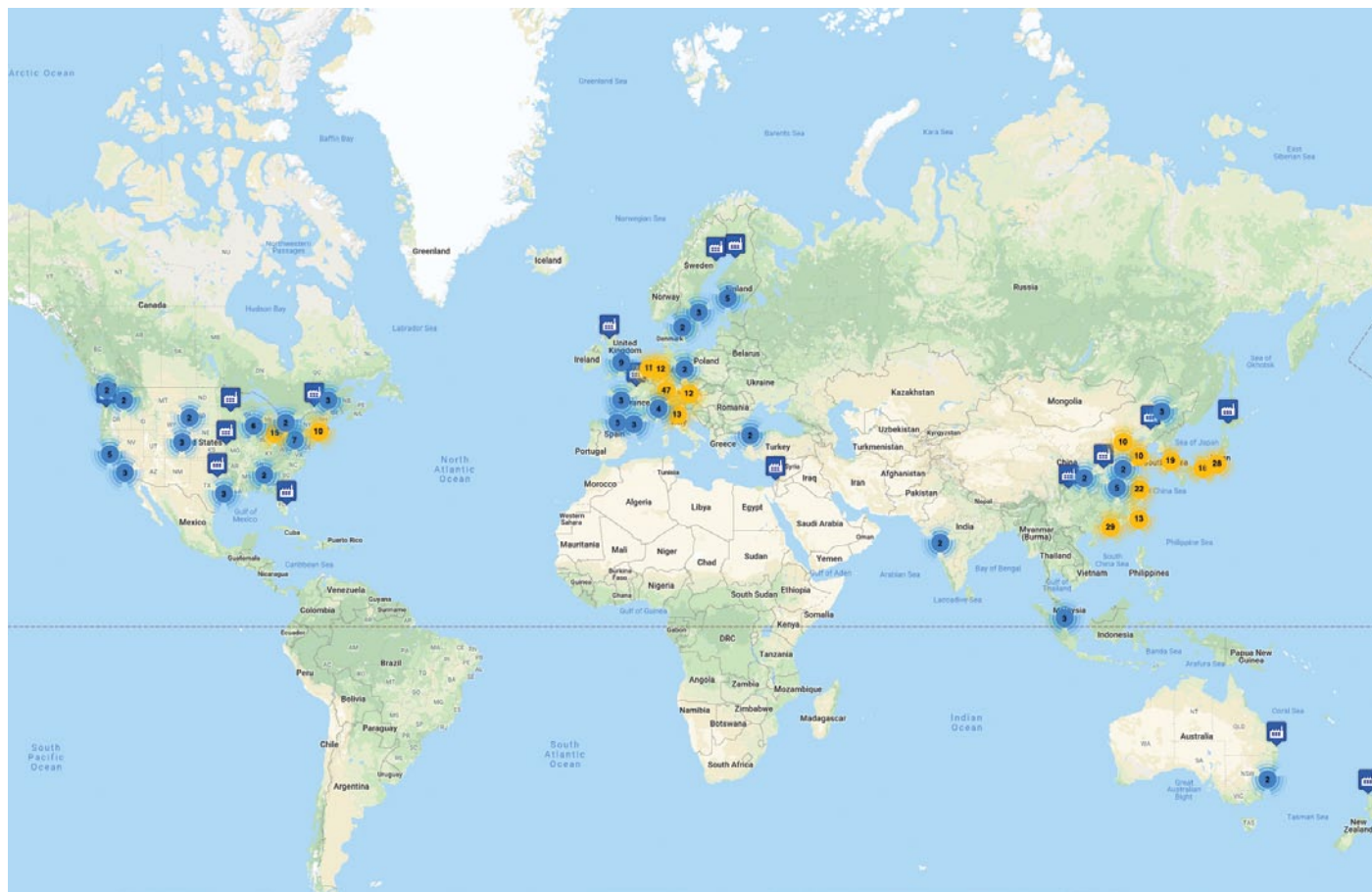
Рисунок 15. Мировые лидеры — компании (год основания) и количество установленных ими промышленных роботов за всё время (по данным на середину 2018 г.), единиц



Япония — лидер не только в роботизации, но и в производстве роботов: 8 крупнейших производителей из Японии

Источник: Robotics and Automation News, Лаборатория робототехники Сбербанка

Рисунок 16. География распределения производителей промышленных роботов в 2018 г.



средняя плотность (до 10) компаний



высокая плотность (10 и более) компаний

Источник: The Robot Report 2018

3. Сервисная робототехника лидирует по скорости роста

Мы часто называем созданное нами общество постиндустриальным, в силу того что современная экономика преимущественно является сервисной: доля услуг в общемировом ВВП составляет около 63%, а промышленность — около 30% (остальное — сельское хозяйство)⁸. Предыдущие десятилетия рост промышленной робототехники обеспечивался прежде всего за счёт того, что роботов для промышленности делать проще — можно относительно легко адаптировать промышленное окружение для робота, а не робота под промышленное окружение. Однако промышленность, как точка роста, имеет своё ограничение. Сервисная экономика в целом больше, чем промышленность. Поэтому и дальнейший рост робототехники будет происходить за счёт сервисной робототехники.

Мы приведём лишь несколько примеров. Наглядным является успех компании *Intuitive Surgical*, чья выручка в 2018 г. увеличилась

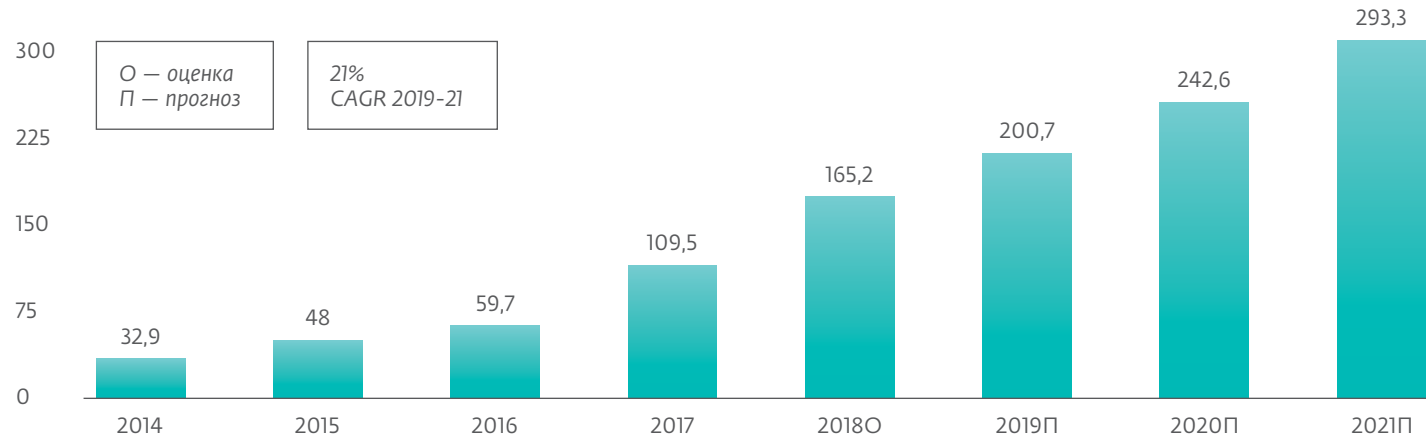
на 20% и приблизилась к \$4 млрд. Выпускаемый компанией робот-хирург *daVinci* недавно получил очередное официальное одобрение на проведение нового типа операций. Продажи компании растут, и, по данным на конец 2018 г., почти 5000 роботов-хирургов по всему миру провели более миллиона операций разного типа⁹.

По данным *IFR*, темп роста **профессиональной сервисной робототехники** в 2017 г. составил 85%, что кратно превысило темпы роста промышленной робототехники (31%) и мирового ВВП (3,7%). В результате в 2017 г. во всём мире было продано 109 500 сервисных роботов по оказанию профессиональных услуг. По оценкам экспертов, в 2018 г. было продано на 50% роботов больше, чем в 2017 г. В результате объём рынка к 2018 г. достиг \$8,7 млрд.

По прогнозам экспертов, с 2019 по 2021 г. продажи профессиональных сервисных роботов ежегодно будут увеличиваться в среднем на 21% (рисунок 17).

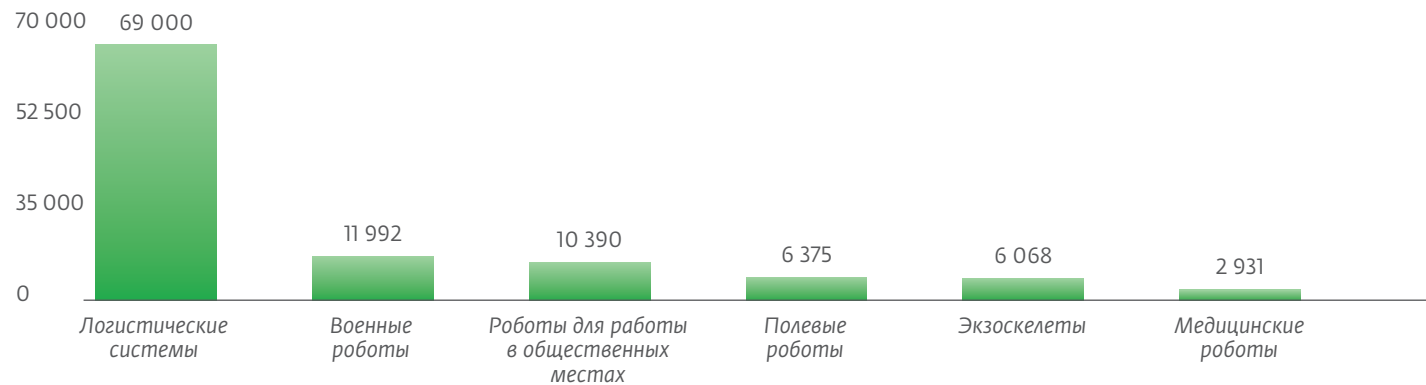
На сегодняшний день быстро растут продажи логистических роботов, силовых экзоскелетов, востребованных как рабочими на производстве, так и пожилыми людьми с ограниченной подвижностью. Мы ожидаем, что спрос на таких роботов продолжит расти ускоряющимися темпами (рисунок 18).

Рисунок 17. Динамика продаж профессиональной сервисной робототехники в 2014–2017 гг. и прогноз на 2018–2021 гг., тыс. единиц



Источник: IFR World Robotics 2018

Рисунок 18. Объём продаж профессиональных сервисных роботов по типу роботов в самых крупных сегментах рынка, количество единиц в 2017 г.



Источник: IFR World Robotics 2018

19.

Экзоскелеты.

ExoChair, Россия

Источник: <https://karfidovlab.com>

20.

Медицинские роботы.

Medtech S.A., Rosa, Франция

Источник: <https://www.newfundcap.com>

21.

Логистические системы.

Fetch Robotics, США

Источник: <https://fetchrobotics.com>

22.

Роботы для работы

в общественных местах.

Промобот v4,

Россия

Источник: <https://promo-bot.ru>

23.

Военные роботы.

Уран-9, Россия

Источник: <https://ru.wikipedia.org>

24.

Полевые роботы.

Aurora Robotics, Россия

Источник: <http://robotrends.ru>



По нашему мнению, наиболее перспективным направлением профессиональной сервисной робототехники являются логистические роботы. В 2017 г. продажи таких роботов увеличились на 162% по сравнению с 2016 г. (рисунок 25). Объем рынка тогда достиг \$2,4 млрд. В результате 63% рынка профессиональных сервисных роботов приходится именно на логистику (рисунок 18). Образно говоря, на рынке профессиональных сервисных роботов есть лишь два типа роботов — логистические и все остальные.



Тем не менее это только начало. По оценкам IFR, в 2018 г. продажи логистических роботов возросли ещё на 66%, а объём рынка достиг \$3,9 млрд. Далее с 2019 по 2021 гг. продажи будут увеличиваться ежегодно не менее чем на 18%. Высокий спрос на мобильных логистических роботов будет поддерживаться благодаря развитию всех видов торговли, включая электронную. В частности, по оценкам экспертов, электронная торговля создала в логистике больше рабочих мест, чем их сократилось в офлайн-магазинах. Например, экономист Майкл Мандель сообщает, что в США с 2007 по 2016 гг. было создано 355 000 рабочих мест в электронной торговле — в семь раз больше, чем количество сокращённых позиций в секторе розничной торговли за тот же период¹⁰.

Постепенно роботы типов AGV/AMR (*Automated Guided Vehicles/Autonomous Mobile Robots*)

становятся новым важным инструментом для производственной среды, поскольку в результате замены работников такими устройствами повышается производительность и сокращаются издержки. Складские роботы позволили компании *Amazon* снизить операционные расходы каждого склада примерно на 20% (около \$22 млн ежегодной экономии). Т. е. операции, на которые человек тратил 60–75 минут, эти роботы выполняют за 15¹¹. Существует большой потенциал для AGV/AMR также в непромышленных областях, например в больницах, где типовые задачи (выдача одних и тех же лекарств по расписанию) и детерминированная среда отделений и палат создают возможности для автоматизации.



Простота автоматизации в логистике может быть обеспечена за счёт того, что многие устройства, которым раньше требовался водитель, можно доработать и довести до полной автономности. Например, так происходит с вилочными погрузчиками. Усовершенствование технологий, таких как машинное зрение и конструкция захватов, позволит расширить диапазон применения логистических роботов.

В качестве примера универсальной платформы для автоматизации логистических операций можно привести робота-курьера *Jeeves* от немецкой компании *Robotise*. Роботизированная платформа, оснащённая

Рисунок 25. Динамика продаж логистических роботов в денежном и натуральном выражении в 2015–2017 гг. и прогноз на 2018–2021 гг.

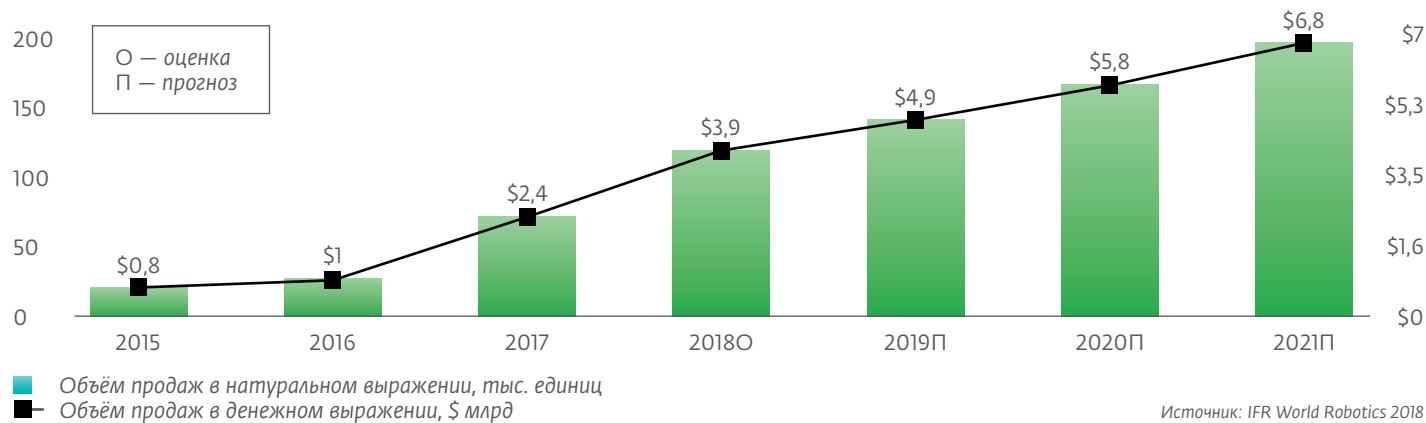


Рисунок 26. Динамика продаж персональных сервисных роботов, тыс. шт.

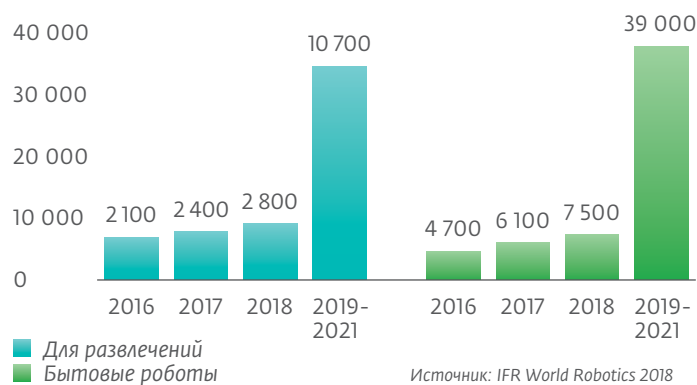
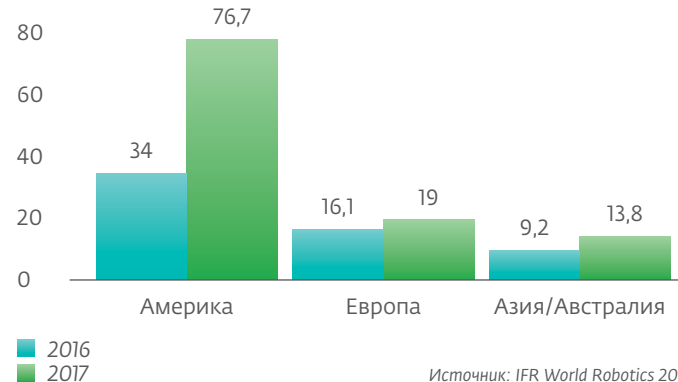


Рисунок 27. Динамика продаж профессиональной сервисной робототехники по регионам, тыс. ед.



трёхмерным оптическим зрением и набором сенсоров, способна к автономной навигации в условиях многоэтажных зданий, включая использование лифтов через беспроводной интерфейс. Эта платформа служит основой модульной конструкции робота-курьера: на неё могут быть установлены различные модули, включая контейнеры для перемещения пакетированных продуктов, охлаждаемые или подогреваемые ёмкости и контейнеры специального назначения. Сейчас такой подход позволяет использовать единую платформу *Jeeves* для сборки роботов для обслуживания отелей, но уже в ближайшей перспективе компания планирует предлагать своего робота для работы в больницах и в индустриальном окружении.

Рынок **персональных сервисных роботов** также активно растёт. Люди постоянно нуждаются в развлечениях, обучении, уборке помещений или услугах безопасности. Роботизация таких услуг уже оказывает значительное влияние на развитие данного рынка. Так, в 2017 г. было продано около 2,4 млн учебно-развлекательных (*edutainment*) роботов (на 12% больше, чем в 2016 г.) и 6,1 млн бытовых роботов (на 31% больше, чем в 2016 г.).

Несмотря на значительные количественные показатели продаж, рынок персональных роботов уступает по денежному объёму рынку

профессиональных роботов. В 2017 г. он оценивался в \$2,1 млрд против \$6,6 млрд для профессиональных. Однако он может значительно увеличиться, по оценкам *IFR* (рисунок 26).

Наилучшие показатели за период с 2016 по 2018 гг. демонстрировал сегмент бытовых роботов, эксперты ожидают, что и в перспективе до 2021 г. этот сегмент сохранит лидерство. Большую долю в нём будут занимать роботы для уборки: пылесосы, мойщики окон и прочие. Активно будут развиваться роботы для образования и развлечений. Объём этого рынка может увеличиться с \$0,5 млрд в 2018 г. до \$2 млрд в 2021 г.

Северная Америка доминирует на рынке сервисных роботов. Следом за ней идёт Европа — благодаря растущему спросу на сервисных роботов в оборонном, медицинском, строительном секторах. Главным игроком на рынке сервисной робототехники являются США — 45% сервисных роботов производится в Америке. Однако азиатские производители активно догоняют лидера: в последние годы они увеличили свою долю с 30% до 43%. При этом на Европу приходится только 12% всех произведённых роботов.

По оценке *IFR*, всего в мире насчитывается 719 ключевых компаний-производителей

28.

Роботы Amazon перевозят грузы на складе

Источник: <https://imgur.com>

29.

Образовательный набор SunFounder RollbotMicro Infrared для Arduino

Источник: <https://www.amazon.com>

30.

Образовательная роботоплатформа РОББО, Россия

Источник: <https://robotbaza.ru>

31.

Робот-курьер Jeeves в варианте для работы в отелях

Источник: <https://jeeves.robotise.eu>



Рисунок 32. Динамика продаж персональной сервисной робототехники по регионам, тыс. ед.

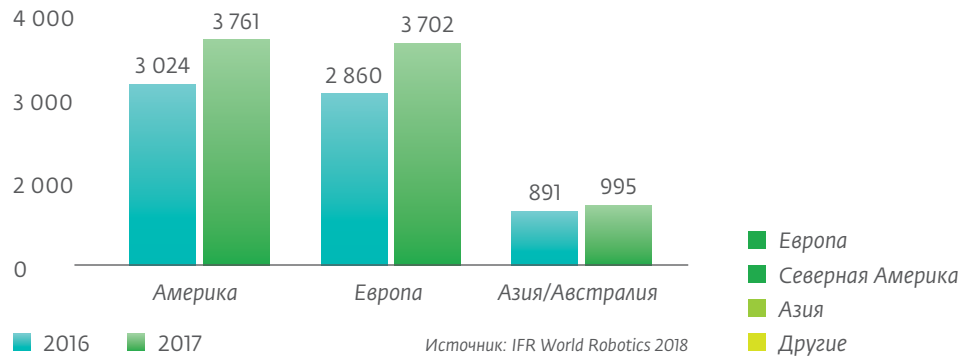


Рисунок 33. Количество производителей сервисной робототехники всех типов по регионам в 2017 г.

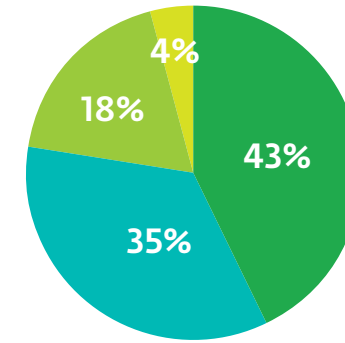
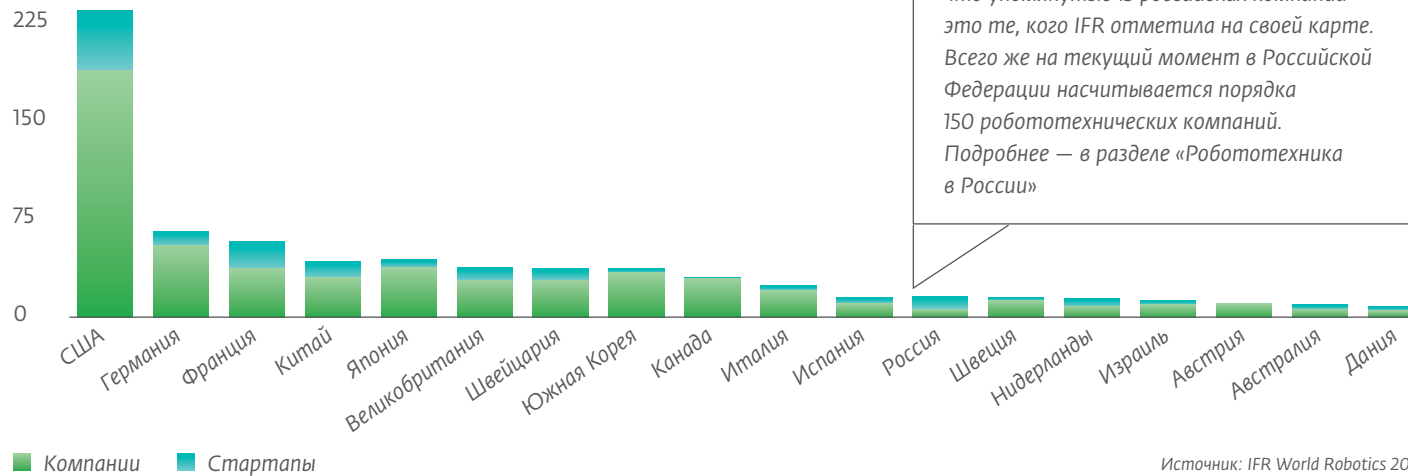


Рисунок 34. Количество производителей сервисной робототехники по типу компаний в отдельных странах мира на конец 2017 г.



Здесь необходимо отметить, что упомянутые 15 российских компаний — это те, кого IFR отметила на своей карте. Всего же на текущий момент в Российской Федерации насчитывается порядка 150 робототехнических компаний. Подробнее — в разделе «Робототехника в России»



Снижение затрат на производство, удешевление продукции, увеличение спроса на роботизированную бытовую технику будут основными движущими факторами этого рынка.

сервисной робототехники, из них — 155 стартапов (напомним, что в прошлом году было 699 и 202). Несмотря на лидерство по количеству проданных сервисных роботов, Америка всё так же уступает Европе по количеству производителей.

На Европейский регион приходится 42% всех компаний, на Северную Америку — 35%, на Азию — 18%. При этом количество азиатских компаний сократилось на 2% по сравнению с 2016 г.

В страновом разрезе лидером по количеству компаний, производящих сервисную робототехнику, всё так же являются США (рисунок 34). Благоприятные условия для ведения технологического бизнеса

привели к тому, что на территории этой страны работает 222 компании в области сервисной робототехники, из них — 43 стартапа. В России на текущий момент наблюдается противоположная ситуация — доля стартапов превышает долю зрелых компаний (60% и 40% соответственно).

По нашему мнению, к вышеприведённой статистике стоит относиться с осторожностью, так как данные по количеству компаний, имеющиеся у *IFR*, выглядят неполными. По крайней мере, это справедливо по отношению к количеству российских компаний и стартапов. По нашим данным, в России действует порядка 150 стартапов.

Со своей стороны, *The Robot Report* на интерактивной карте мировой робототехники приводит альтернативную оценку количества производителей сервисных роботов, более 1500 производителей сервисной робототехники с сегментацией по области применения (профессиональная или персональная). Количество отмеченных на этой же карте стартапов превышает 1400. Данные *TRR* для России — 18 производителей сервисных роботов и 27 стартапов. Однако нужно отметить, что и эта карта составляется преимущественно по заявкам самих компаний, то есть компаний, которые не сообщили о себе, на карте может не быть.

Sberbank
Robotics
Laboratory



02

Тренды и образ будущего

Как говорил футуролог Рой Амаро, мы склонны преувеличивать краткосрочный эффект от технологий и недооценивать их долгосрочное влияние. Тем не менее при отсутствии даже минимальной карты развития технологий робототехники на следующие пять лет нам будет сложно определить приоритеты для собственного развития.

Следующие пять лет

В ходе работы над данным разделом авторы обзора провели много часов обсуждений с экспертами в каждой из предметных областей, выделяя и фокусируя важные для робототехники области технологий. Данный список не претендует на полноту или исключительную достоверность. Однако может служить хорошей базой для дальнейших исследований и практических разработок как в корпоративных лабораториях, так и в стартапах. В ходе обсуждений и приоритизации мы выделили одиннадцать направлений, имеющих наибольшее влияние на «робототехнику и компоненты сенсорики» в нашей стране в течение следующих пяти лет.

Структура данного списка технологий основана на прекрасной статье *The grand challenges of Science Robotics*^{*}, однако мы проработали самостоятельно технологические тренды и предлагаем дополнительные аргументы к тем, что использованы авторами изначально.

- Новые материалы.
- Новые источники энергии.
- Взаимодействие групп роботов и людей.
- Альтернативные способы навигации для экстремальных условий.
- Машинное обучение и технологии ИИ для роботов.
- Человеко-машинное взаимодействие.
- Манипуляционная робототехника.
- Сенсорика и органы восприятия окружающей действительности.
- Робосимуляторы с использованием технологий *ML/RL*.
- Новые принципы приводных механизмов.
- Способы производства роботов и технологии сквозного проектирования робототехнических систем.

^{*} DOI: 10.1126/scirobotics.aar7650

1. Новые материалы

Сейчас наш мир населён примерно двумя миллионами самых разнообразных роботов — на одного робота (даже если это примитивный промышленный манипулятор) приходится 3,5 тысячи землян. В планетарном масштабе роботы пока ещё не заметны. Если это изменится в течение следующих пяти лет, то произойдёт это благодаря появлению новых материалов.

Нитрид галлия для транзисторов.

Конец закона Мура близко. Это означает, что привычный нам темп развития микроэлектроники может кардинально замедлиться. Однако в корпоративных и университетских лабораториях есть несколько потенциально прорывных технологий. Одной из них является использование нитрида галлия для производства транзисторов. Этот материал обладает более широкой запрещённой зоной, чем кремний, из которого делают классические транзисторы. Благодаря этому транзисторы из нитрида галлия работают при более высоких температурах. Рабочая температура *GaN*-транзисторов составляет 150–200 °С и в теории может достигать 500 °С. Также *GaN*-транзисторы выдерживают большие токи, чем кремниевые¹². В целом преимущества таких транзисторов по сравнению с традиционными связаны с минимальным собственным сопротивлением и, как следствие:

- большей предельной плотностью тока;
- повышенной электрической прочностью;
- высокой теплопроводностью;
- широким диапазоном рабочих температур;
- высокими частотными характеристиками;
- минимальным уровнем шумов¹³.

В результате нитрид-галлиевые транзисторы снижают коммутационные потери и потери проводимости в несколько раз по сравнению с традиционными транзисторами. Они могут снизить нагрев блоков управления двигателей в беспилотных автомобилях и других самоуправляемых роботах.

Также нитрид-галлиевые транзисторы меньше в размерах, что позволяет уменьшить массу и габариты конечных устройств и снизить их стоимость.

Множество компаний ведут разработки в области нитрид-галлиевых транзисторов, но единицы могут предложить решения и технологии, которые готовы к массовому использованию. Одна из таких — компания *GaN Systems*, в которую инвестирует венчурный фонд *BMW iVentures*.

Мягкие кристаллы как гибкая основа для новых типов материалов. Японские исследователи из токийского Университета ВасЭда получили новый тип кристаллов, которые меняют форму в результате циклического процесса смены температурного воздействия¹⁴.

Кристаллы под воздействием того или иного температурного режима сгибаются и распрямляются, повторяя движение червя. Это открывает возможности для создания нового типа мягкой робототехники, более гибкой и адаптивной к физической среде.

Совмещение технологий производства графена в промышленных масштабах с существующими технологиями микроэлектроники. Сейчас нет готовых решений для производства графена. Столь долгий путь графена на рынок обычно связывают с длительным циклом R&D в этой области. Мы знаем, что ведётся множество разработок, которые приведут к созданию новых материалов — графеновых плёнок и нитей.

Для графеновой нити будет характерна высокая прочность в сочетании с тонкостью. Такие качества позволят разработать исполнительные приводы роботов, имеющие более компактные габариты при одновременном увеличении точности и увеличении усилия привода. Кардинальное улучшение таких характеристик очень важно для манипуляционной робототехники.



Конец закона Мура и переход к GaN не связаны между собой. GaN и SiC – перспективные материалы для силовой и СВЧ электроники, но не для логических схем и памяти, для которых важен закон Мура. Для логических схем можно рассматривать переход на германий (Ge), арсенид галлия (AsGa) или двумерные материалы.

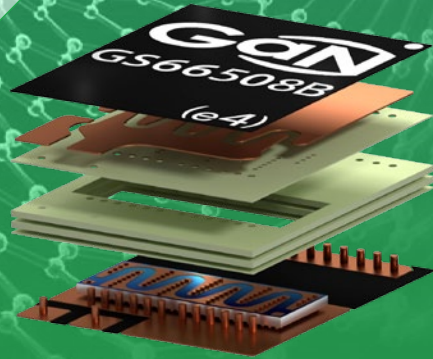
Николай Суетин

*Вице-президент по науке
и образованию Фонда Сколково*

Источник: <https://sk.ru>

Как мы уже отмечали, нитрид галлия является только одним из перспективных материалов для развития полупроводников.

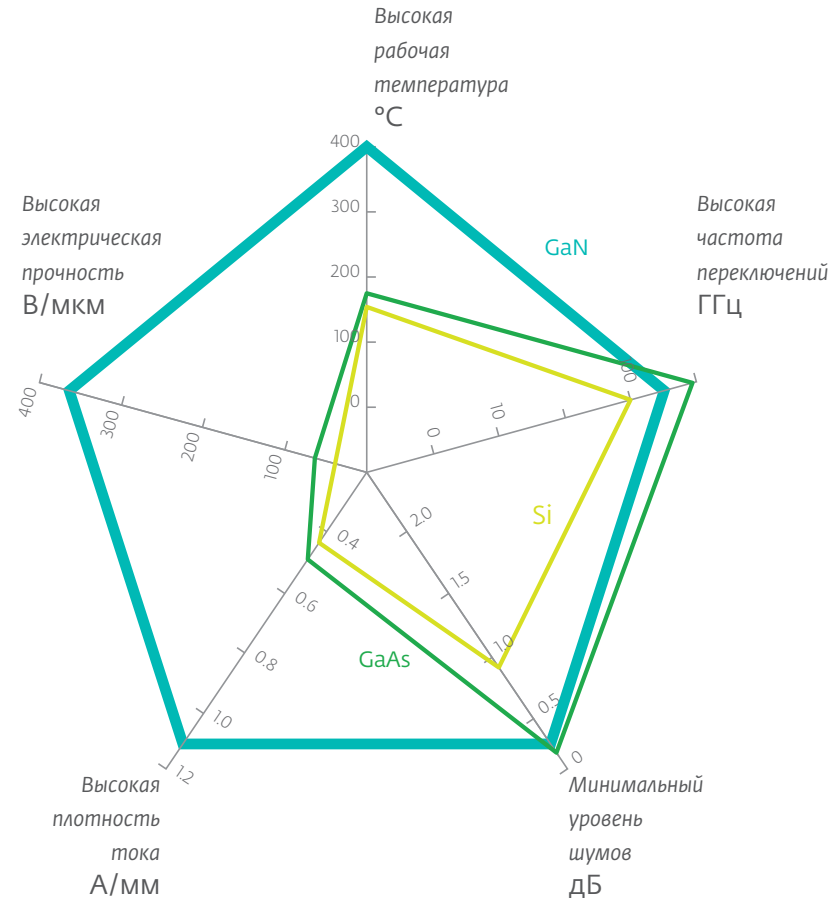
И, говоря о GaN, нельзя не упомянуть о другом химическом соединении — карбиде кремния (SiC), так как транзисторы, созданные на его основе, обладают схожими с GaN-транзисторами качествами.



35. GaN-транзистор GS66508B компании GaN Systems

Источник: <https://www.electronicweek.com>

Рисунок 36. Сравнительные характеристики транзисторов из нитрида галлия с транзисторами других типов



Источник: GaN Systems

Графеновая плёнка может найти применение в новых типах аккумуляторов, которые используют графен как основное активное вещество. Считается, что это позволит значительно сократить время зарядки и увеличить энергоёмкость аккумуляторов примерно в два раза¹⁵.

2. Новые источники энергии, технологии хранения и сбора электроэнергии

Мы часто повторяем, что роботы не устают в отличие от людей. Однако миллионы лет эволюции сделали нас удивительно энергоэффективными. Роботы даже близко не подошлись к тому, чтобы работать так же эффективно, как люди или животные. Изобретённые около 160 лет назад двигатели внутреннего сгорания также намного превосходят электрические двигатели, используемые в робототехнике повсеместно.

К примеру, удельная теплота сгорания килограмма бензина — 42 мегаджоуля (или примерно 10 000 килокалорий). Средняя калорийность рациона человека весом 70 кг со средним уровнем физической активности — около 2500 килокалорий. 58% этого калоража приходится на энергию, получаемую из углеводов, т. е. 1450 ккал.

Таким образом, если бы человек мог потреблять бензин, то ему было бы достаточно около 150 г бензина для обеспечения ежедневной энергетической потребности. Интересно, что 25% этого объёма пойдёт на питание мозга. Так, если мы хотим иметь роботов, хоть сколько-нибудь способных быть такими же, как люди, нам необходимо кардинально улучшить их энергетические характеристики.

Эволюционное развитие существующих технологий хранения энергии. Самый распространённый тип аккумуляторов для роботов — на основе лития. Улучшить литиевые аккумуляторы можно за счёт:

- новых материалов электродов;
- оптимизации химического состава аккумулятора;
- повышения стабильности качества мембраны в аккумуляторе;
- более равномерной толщины покрытия в результате оптимизации технического процесса.

В ближайшие пять лет мы не ожидаем резкого увеличения ёмкости аккумуляторов, однако ждём увеличения долговечности, ресурса и скорости зарядки за счёт оптимизации структуры аккумуляторов и программного управления аккумуляторами. Ведётся множество

37.
Беспилотный летательный аппарат на солнечных батареях Zephyr S HAPS (High Altitude Pseudo-Satellite, высотный псевдоспутник)

Источник: <https://www.aertecsolutions.com>

38.
Беспроводное зарядное устройство от WiBotic

Источник: <https://www.wibotic.com>

39.
Группа беспилотных летательных аппаратов

Источник: <https://www.wetalkuav.com>



исследований* по этим направлениям, но никто пока не нашёл способа промышленной реализации технологий. Прорыв произойдёт тогда, когда этот способ будет найден.

Альтернативные источники энергии.

Разрабатываются солнечные панели для беспилотных летательных аппаратов. Например, беспилотник *Zephyr* от компании *QinetiQ*, принадлежащий *Airbus*, уже поставил рекорд по продолжительности полёта на солнечной энергии — 25 дней. В планах компании — коммерциализировать аппарат, создавая бюджетную альтернативу спутникам. Другой пример решения по производству энергии — термоэлектрический генератор на элементе Зеебека^{16,17}. Он позволяет вырабатывать электроэнергию для подводных роботов благодаря перепадам температур. Мы считаем, что это достаточно нишевая технология, которая вряд ли получит широкое распространение в робототехнике.

Внедрение портативных водородных элементов питания. Водород является самым энергоёмким носителем в природе, поэтому его применение обязательно будет востребовано в разработке элементов питания для любых видов роботов. Однако прежде всего это касается беспилотных летательных аппаратов, так как именно там нужно максимально снижать вес при одновременном

увеличении энергоёмкости элементов питания. К сожалению, стоимость водородных топливных элементов всё ещё слишком высока, поскольку для производства катализатора водородного элемента используется платина, дорогая и сложная в производстве. Возможно, исследователи найдут её аналог. Такие элементы смогут применяться в беспилотниках наряду с солнечными батареями. На рынке уже существуют промышленные изделия, которые пользуются спросом. К примеру, в России компания *VMPower* разрабатывает и производит водородные топливные элементы для дронов и роботов. Такие элементы, по заявлению компании, при сопоставимой с литийионными батареями массе и габаритах позволяют хранить до 10 раз больше энергии, увеличивая время полёта дрона до 12 часов (в зависимости от его типа), но не менее 2,5 часа для обычных профессиональных мультикоптеров¹⁸.

Появление распределённых сетей беспроводной зарядки. Роботы могут приобрести возможность дистанционной подзарядки от внешних источников питания в процессе работы. В помещении это может быть реализовано с помощью источников энергии, встроенных в пол или стены. Внедрение беспроводных зарядных станций вдоль дорог или железнодорожных путей позволит увеличить автономность наземных и воздушных беспилотных транспортных средств. Например, компания *WiBotic* уже предлагает

* *The Development and Future of Lithium Ion Batteries, George E. Blomgren*

автономные беспроводные зарядные площадки для дронов, наземных и подводных роботов.

Развитие технологий *quick charge*. Вместе с беспроводными технологиями будет развиваться быстрая зарядка. Драйвером этой технологии выступает мобильная электроника. Компания *Qualcomm* расширила действие собственного стандарта *Quick Charge* на беспроводные зарядные станции. Это позволит ускорить процесс беспроводной зарядки. Также компания *Xiaomi* недавно первой выпустила быструю зарядку, которая заряжает смартфон за полтора часа. В скором времени роботы для персонального назначения могут получить возможность беспроводной зарядки — докстанции и системы зарядки могут уйти в прошлое.

Беспроводная передача энергии внутри робота. Данная технология может улучшить и внутреннюю конструкцию самих роботов. Мы ожидаем, что в ближайшие пять лет появится возможность беспроводной передачи энергии внутри роботов различного назначения для малопотребляющих компонентов, например сенсоров или микрофонов. Это означает, что сенсорика робота будет основана на пассивном электропитании. Это драматически снизит количество проводов, уменьшит массу и габариты роботов и повысит износостойкость его элементов, сокращая стоимость производства и обслуживания.

Гнущиеся полупрозрачные солнечные элементы. Подобные солнечные фотоэлементы можно незаметно крепить на поверхность различных роботов. Но пока КПД полупрозрачных элементов низкий. Следовательно, прежде чем такая технология выйдет из исследовательских лабораторий, усилия разработчиков будут направлены на значительное увеличение эффективности работы солнечных элементов.

3. Взаимодействие групп роботов и людей

Управление беспилотным трафиком.

Система управления, которая создаст единое информационное поле для управления группой дронов, находящихся в пределах одной местности. Система сама будет определять траектории движения связанных аппаратов. Подобные системы в скором времени появятся в отдельных регионах США, Европы и Австралии, процесс тестирования уже ведётся. Развёртывание сетей связи 5G также окажет стимулирующий эффект на развитие подобных систем. Важно отметить, что в процессе эксплуатации систем группового управления автономность отдельного дрона повысится: каждый участник группы сможет расширять собственные возможности связи и информационного обмена за счёт других участников.

Групповое управление как способ навигации. Перспективным направлением развития систем управления беспилотным трафиком видится коллективная навигация роботов, когда устройства разных типов действуют совместно в разных средах (земля, воздух), уточняют свои координаты друг у друга, постоянно сравнивая взаимное местоположение и обмениваясь информацией об окружающих объектах.

Такие системы активно тестируются в США и Великобритании. В России Фонд перспективных исследований и НПО «Андроида техника» разработали прототип военного робота-танка «Маркер», который может получать данные об окружающей обстановке от 15 малых беспилотных летательных аппаратов¹⁹.

4. Альтернативные способы навигации для экстремальных условий

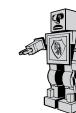
Роботы научились хорошо прокладывать маршруты и понимать собственное местоположение в условиях, когда и человек может это делать довольно неплохо. Однако главный вызов для развития технологий навигации не состоит в том, чтобы роботы справлялись с навигацией там, где человек чувствует себя комфортно, но там,

где и человек с трудом справляется (если вообще может) проложить маршрут или определить своё местоположение на транспортном средстве или без него. Такие ситуации могут быть как на морском дне или поверхности астероида при добыче полезных ископаемых, так и просто на зимней дороге, затерянной где-то в тайге.

Гибридные системы управления роботом.

Развитие систем управления, которые эффективно комплексировать информацию от разнородных навигационных приборов (спутниковая навигация GLONASS/GPS, гироскопы, акселерометры, одометры, видеокамеры, радары, сонары, лидары и т. д. для создания единого образа среды), позволит роботам (включая различные беспилотные транспортные средства во всех трёх средах — воздух, земля, вода) оперативно формировать точные трёхмерные карты сложного окружения.

Примером такой системы можно назвать инерциальный измерительный модуль (IMU), который включает акселерометр, гироскоп, компас и датчик давления. Такие модули применяются для ориентации в пространстве и стабилизации, когда невозможно использовать глобальную систему позиционирования. Современные IMU пока не способны долговременно обеспечивать точное позиционирование, поскольку со временем датчики накапливают ошибку. Именно поэтому решение проблемы погрешности является



актуальной задачей и сделает навигацию роботов в сложных условиях более точной. Кроме того, современные системы навигаций для экстремальных условий сейчас достаточно дорогие по сравнению с системами, применяемыми в регулярных условиях. Для создателей массово применяемых беспилотников (даже с ограниченной автономностью) это является чрезвычайно актуальной задачей.

Чтобы вывести автопилот в производство, компания *Tesla* применяет комбинацию радаров и камер вместо дорогих лазерных дальнометров (лидаров). Однако окончательного решения вопроса автономной навигации в любых условиях ещё не найдено, и именно это будет приоритетом исследований многих крупных и мелких компаний данной отрасли на ближайшие годы.

Автономная навигация на неразведанной местности в условиях полного отсутствия связи. Системы спутниковой навигации давно и широко используются для позиционирования объектов и транспортных средств во многих областях нашей жизни. Однако существует целый ряд ситуаций, когда использование спутниковой навигации невозможно. Например, перемещение под землёй или внутри зданий не позволит роботам использовать спутниковый сигнал, а выход из строя навигационного спутника или орбитальной группировки целиком

может оставить без важнейшего источника навигационной информации всю планету. Поэтому мы считаем, что роботов следует обучать самостоятельно ориентироваться в пространстве без использования спутниковой навигации.

В России Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК) разрабатывает подобную систему автономной навигации для авиационных, наземных и подводных беспилотных аппаратов²⁰. Для автономной навигации будет использоваться система технического зрения. Оснащённые ею роботы смогут самостоятельно осуществлять «визуальный» контроль местности, сравнивая текущую картину с информацией, предварительно загружаемой из онлайн-сервисов.

Для того чтобы роботы научились ориентироваться на неразведанной местности, специалисты планируют доработать систему технического зрения и дополнить её элементами искусственного интеллекта. Инженеры из Тель-Авивского университета²¹ пошли по другому пути. Разработанный ими аппарат *Robot* применяет для ориентировки в пространстве принцип эхолокации, используя отражённый звуковой сигнал от встроенного ультразвукового динамика. Получаемая информация обрабатывается нейронными сетями.

5. Машинное обучение и технологии ИИ для роботов

Нам до сих пор доподлинно не известно, возможно ли в принципе появление искусственного интеллекта, способного создать настоящее художественное произведение. Но мы абсолютно уверены, что развитие технологий ИИ и машинного обучения и их применение в робототехнике является необходимым условием для создания действительно полезных и умных роботов. В нашем отчёте искусственному интеллекту посвящён целый раздел. Здесь же мы рассмотрим те векторы развития, которые могут стать определяющими в ближайшей перспективе.

Повышение эффективности работы искусственных нейронных сетей за счёт новых аппаратных платформ. Не будет преувеличением сказать, что статистические методы и машинное обучение, включая искусственные нейронные сети глубокого обучения, оказали громадное влияние на современную робототехнику. По мнению главного исследователя Лаборатории робототехники компании



Эндрю Ын
CEO Landing.AI,
сооснователь
Coursera

«Трудно представить себе крупную индустрию, которую не трансформирует ИИ. Здравоохранение, образование, транспорт, розничная торговля, связь и сельское хозяйство. У ИИ есть все возможности для достижения значительных изменений во всех этих отраслях».

40. Робот Robat ориентируется в пространстве подобно летучим мышам

Источник: <https://sciencemag.org>



Google Vikash Kumar, «[машинное] обучение помогает нам преодолевать технологические вызовы практического использования дешёвых манипуляторов»²². Это повторяет слова основателя *Netscape Marc Andreesson*, который метко заметил, что «программное обеспечение пожирает мир». Однако многие исследователи отмечают также ограниченность подхода, связанного с нейросетями и глубоким обучением. В частности, *Leif Jentoff*, генеральный директор компании *RightHand Robotics*, заметил, что «нейронные сети — не самое правильное решение для всех проблем. Технологии лишь кажутся мощными, но на самом деле это неверно». В нашей лаборатории мы видим следующие пути повышения эффективности нейронных сетей.

- 01.** Усложнение архитектуры сетей и увеличение ее емкости при сохранении приемлемой скорости обучения.
- 02.** Развитие систем, которые позволят нейронным сетям работать *onboard* с минимальным энергопотреблением.

Обучение алгоритмическим процедурам.

Важной задачей в повышении эффективности машинного обучения является уменьшение обучающей выборки при сохранении скорости и качества обучения. Для решения такой задачи исследователи изучают возможности замены

жёсткого программирования обучением алгоритмам действия. Например, нейронная сеть, обученная на примере одного размеченного датасета, может самостоятельно обучаться и делать выводы на неразмеченных датасетах. В результате процесс обучения становится быстрее, обрабатываются большие массивы данных, а качество результатов повышается.

Облачные сервисы для машинного обучения.

В ближайшем будущем можно ожидать массового появления облачных сервисов, которые объединят, агрегируют и предоставят доступ роботам к коллективному знанию. Процесс переноса опыта в облако с разных платформ будет сопровождаться сложностями, поскольку у каждого сенсора, актуатора и других элементов роботов есть своя специфика. Поэтому разработчики ведут эксперименты с облаками уже сейчас, например, компания *Amazon* с продуктом *AWS IoT Greengrass* и *Google*, которая разрабатывает собственную облачную платформу *Cloud Robotics* для управления роботами.

В скором времени мы ожидаем запуск таких решений в массовое производство. В качестве первого примера, на недавно прошедшей конференции компании *Schunk* представитель компании *MiR*, производителя автономных логистических роботов, рассказывал о собственном опыте применения *Google Cloud Robotics*.

41.
Компания Google
разрабатывает
собственную
облачную платформу
Cloud Robotics
для управления
роботами

Источник: <https://www.analyticsinsight.net>

42. Робот Atlas

Источник: Boston Dynamics

43. Робот
Cheetah 3
от MIT

Источник: MIT



Эволюция движений роботов благодаря технологиям ИИ. По мнению большинства экспертов, машинное обучение позволяет повысить эффективность работы приводов и улучшить возможности передвижения (*locomotion*). В результате выполнение движений повышенной сложности будет достигаться более простыми средствами. Сейчас разработки в данном направлении ведут *Boston Dynamics* и *MIT* с роботом *Cheetah*. Исследователи надеются, что в случае успеха применение нейронных сетей позволит найти новые варианты движений, которые будут эффективнее существующих в природе.

6. Человеко-машинное взаимодействие

Ранее мы вспоминали цитату нобелевского лауреата Пола Кругмана о том, что «роботом можно назвать любую машину, которая выполняет работу, ранее выполнявшуюся человеком». Но, возможно, текущая практика робототехники показывает, что наилучших результатов в увеличении производительности труда можно добиться от максимальной эффективности связки команд роботов и людей, работающих совместно для достижения общей цели. Как писал Юваль Харари, «лишённые сознания, но высокоразвитые алгоритмы вскоре могут знать нас лучше, чем знаем себя мы сами».

Такой подход выдвигает на передний не только технологии, но и когнитивные, социальные, психологические, лингвистические и антропологические проблемы. По нашему мнению, человеко-машинное взаимодействие будет развиваться в рамках четырёх направлений:

- робот как инструмент, повторяющий возможности человека, — экзоскелеты, экзопротезы и нейрокомпьютерные интерфейсы, который в результате может привести к появлению нового вида человека *Homo Extensis* (человек дополненный). Пресса очень любит рассказывать о различных примерах такого рода технологий. Работы в данном направлении ведутся в интересах целого ряда отраслей. Например, компания *Nissan* разработала интерфейс, который помогает считывать мысли во время вождения для уменьшения времени реакции²³. Другим хорошим примером можно назвать шведский проект *DeTOP* — протез руки, который впервые в мире был подключён напрямую к нервной системе человека²⁴;
- робот как инструмент, расширяющий возможности человека. Именно об этом говорили ещё древнегреческие мифы: помощниками бога-кузнеца Гермеса были специальные умные треножники, которые вовремя подавали ему нужные

орудия. Ровно такой инструмент создала команда из Технологического института Карлсруэ для компании *Ocado Group*, которая представила проект *SecondHands* — робота-подмастера²⁵. Он умеет подавать инструменты при помощи голосовых команд и в будущем научится распознавать контекст действий работника. К 2020 г. разработчики планируют выпустить такого робота в массовое производство;

- аватаризация является важнейшим направлением робототехники. Человек имеет естественные ограничения по среде обитания, поэтому освоение космоса или глубин мирового океана невозможно без создания роботов-аватаров, которые могут дистанционно управляться человеком и синхронно повторять его движения. На прорыв аватаризации направлен международный конкурс *X-Prize ANA Avatar*²⁶. Также подобные исследования ведутся в «Роскосмосе» совместно с НПО «Андроидная техника»;
- социальное взаимодействие между человеком и роботами в повседневной и рабочей жизни является предметом многочисленных исследований, некоторые из них стали основой целых многомиллиардных индустрий. Примером успешной реализации технологий социального взаимодействия являются

голосовые помощники и чат-боты, которые уже давно преодолели «Тест Тьюринга» в том смысле, что теперь пользователей совершенно не волнует, насколько похож робот-собеседник на человека. Главным критерием ценности бота становится его полезность для человека, эмоциональная вовлечённость человека в диалог с роботом вне зависимости от того, с какой поверхностью (3D-проекция, экран, голос) ведётся диалог.

С точки зрения развития технологий четыре вышеописанных направления требуют дальнейшего развития и внедрения целого ряда инструментов, обеспечивающих более тесное взаимодействие между человеком и роботом.

Нейрокомпьютерные интерфейсы. По нашему мнению, такие решения в пятилетней перспективе пока останутся в стадии исследований. Однако неинвазивные решения будут активнее использоваться для решения узких задач, например для диагностики заболеваний или реабилитации. В сентябре 2018 г. «Ростех» представил предсерийный образец устройства, которое поможет обмениваться информацией между мозгом и внешним устройством. Такой нейроинтерфейс позволит управлять электронными и электромеханическими устройствами: протезами и транспортными средствами²⁷. В апреле 2019 г. компания «ЭкзоАтлет»

44.
Робот-подмастерье от КИТ

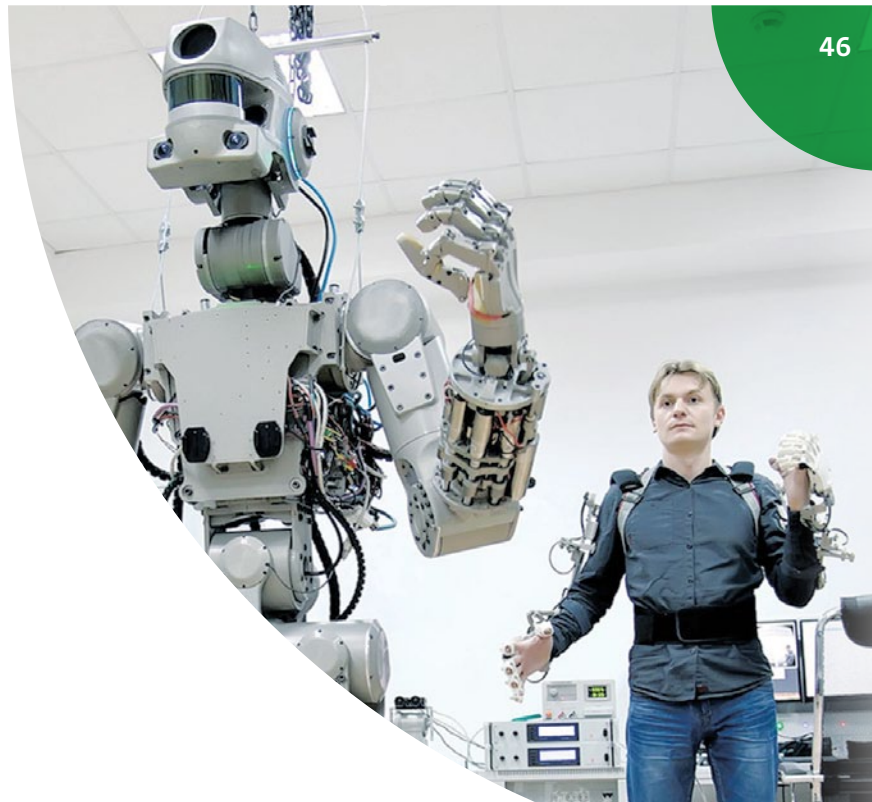
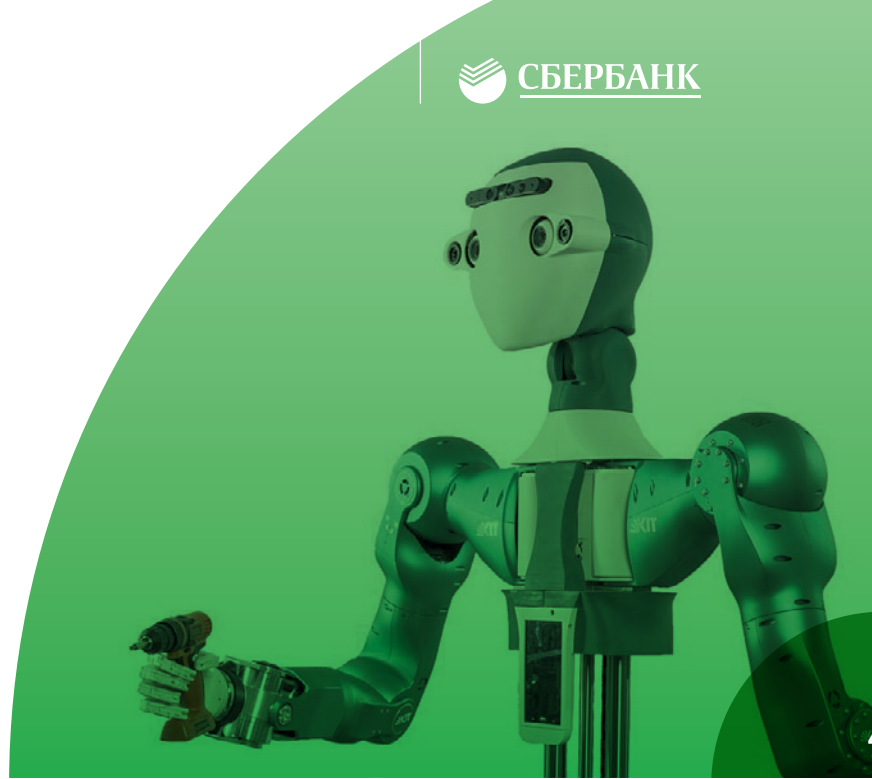
Источник:
<https://www.ocadotechnology.com>

45.
Робот T-HR3 от Toyota повторяет движения за оператором и передаёт обратную связь благодаря сенсорам и гарнитуре

Источник:
<https://www.toyota-global.com>

46.
Оператор управляет российским роботом FEDOR

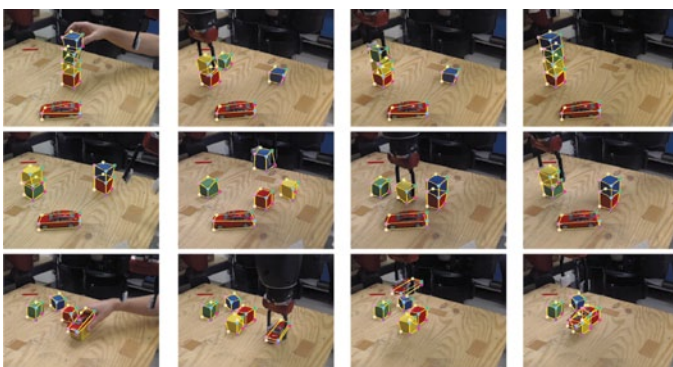
Источник: <https://cdn24.img.ria.ru>



47. Первый в мире протез руки, подключённый напрямую к нервам человека. Источник: <http://www.detop-project.eu>



48. Процесс обучения робота на примере действий человека. Источник: Nvidia, <https://arxiv.org/pdf/1805.07054.pdf>



Демонстрация

Исполнение

Результат

представила версию реабилитационного экзоскелета нижних конечностей, который управляется с помощью неинвазивного интерфейса. Мы можем ожидать появления доступных экзопротезов с элементами нейроуправления в ближайшие годы.

Когнитивные навыки роботов, обучение через повторение. Обучение робота будет проводиться не средствами программирования, а через демонстрацию ему жестов и движений. Роботы уже могут и фиксировать навыки движения человека, и копировать его. В данный момент эта технология ещё не нашла широкого применения, хотя решения для подобного обучения уже доступны коммерчески у многих вендоров промышленной робототехники. Компании ведут активную разработку. Исследователи из компании Nvidia, работая с роботом Baxter (Rethink Robotics), создали систему глубокого обучения, основанную на нейросетях. Следует ожидать, что в ближайшие годы качество обучения улучшится, равно как и повысится степень автономности роботов.

Развитие средств обратной сенсорной связи при удалённом управлении. Многие задачи, в которых применима роботизация, требуют от операторов не только визуального контроля и пультового управления. Тактильные ощущения и другие сенсоры, передающие ощущения обратной связи оператору не менее важны. Для улучшения

эргономики и повышения качества управления оператор, управляющий роботом удалённо, должен понимать, что робот держит в руках, что достигается посредством обеспечения обратной связи. Такие технологии уже тестируются и в ближайшее время начнут применяться массово. Например, японская компания *Toyota* представила робота *T-HR3*, который может удалённо дублировать жесты оператора, в то время как оператор видит всё, что происходит с роботом, в дополненной реальности и с эффектом обратной сенсорной связи.

Использование естественного языка

и распознавания эмоций. Робот постепенно приобретает человеческие навыки: лучше распознаёт голос, мимику, жесты, эмоции человека и отвечает ему с большей эмпатией. Голосовые интерфейсы станут популярнее в результате роста качества распознавания речи и более естественного для человека формата взаимодействия — говорить с роботом на равных станет привычным делом. Роботы научатся лучше распознавать мимику, жесты, эмоции человека за счёт улучшенных сенсоров и камер. Постепенно робот из умного помощника может стать умным советником: когда человек не может сформулировать запрос на решение задачи, робот будет самостоятельно определять проблему и предлагать решение в зависимости от контекста ситуации. Помимо вопросов развития технологий, существует ряд социально-экономических вопросов, связанных с человеко-машинным взаимодействием.

Роботы должны адаптироваться к человеку и «вписаться в интерьер»

Мнение экспертов компании Schunk

Стремительная автоматизация рождает опасения, что роботы оставят людей без работы. Но опасения напрасны: по данным *WEF* машины и алгоритмы создадут 58 млн новых рабочих мест к 2022 г²⁰⁸.

Кроме того, сложные технологии не вызывают доверия со стороны граждан, например, зафиксированы частые случаи порчи роботов-курьеров, которые тестируются на улицах США и Европы.

Непривычность технологии приводит к неравноценному восприятию последствий: когда человек попадает в серьёзное ДТП, это грустно, но привычно для нас, когда беспилотный автомобиль сбивает человека или животное, это вызывает широкий общественный резонанс и их тестирование приостанавливают. Поэтому ближайшие годы уйдут на повышение безопасности беспилотных транспортных средств наравне с традиционными автомобилями и на то, чтобы люди, заменённые роботами, обрели новые профессии.

7. Манипуляционная робототехника (+ soft robotics)

Программное обеспечение улучшает работу манипуляторов. В обозреваемой нами перспективе аппаратное обеспечение для манипуляционной робототехники не претерпит заметных изменений. Но как было сказано выше, за счёт совершенствования программного обеспечения общая стоимость роботов для решения манипуляционных задач будет снижаться. Например, фреймворк для управления *Movel!*, который решает задачу избегания коллизий и может использоваться с манипуляторами *Universal Robots*, *Kuka*, *FANUC* и другими.

Полноценная тактильная обратная связь. Мы уже упоминали о важности обратной сенсорной связи для удалённого управления робототехникой. Но обратная сенсорная связь важна и для автономной работы. Манипулятор, беря предмет, должен получать обратную связь о степени сжатия предмета, его весе, форме и таким образом может регулировать свои действия. Например, исследователи

Технологии создания роботов-помощников и компаньонов: в больницах и реабилитационных центрах роботов должен «программировать» медицинский персонал, а не программисты.

Мнение экспертов
компании Schunk

49. Манипулятор MIT играет в дженгу

Источник: <http://news.mit.edu>



MIT научили роботизированный манипулятор играть в дженгу. Уникальность этого проекта заключается в способности робота быстро выучить наилучший способ выполнения задачи не только по визуальным данным, но и по тактильному воздействию на элементы игрушки²⁸.

Упрощение процесса программирования роботов.

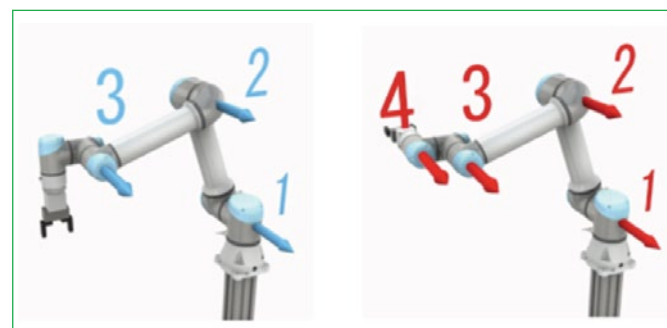
С момента возникновения программируемых вычислительных систем средства разработки управляющего программного обеспечения постоянно совершенствуются. Мы прошли путь от машинных кодов и ассемблера до языков программирования высокого уровня и объектно-ориентированного программирования. Уже сейчас значительную часть в языках программирования занимают средства описания того, что надо сделать, а не того, как это сделать. Применительно к программированию роботов это означает, что для их обучения достаточно продемонстрировать последовательность необходимых действий, а в идеальном случае — просто поставить роботу задачу на естественном языке. Уже сейчас существуют алгоритмы, которые позволяют роботам лучше понимать такие команды²⁹. Эти алгоритмы не только переводят команды в действия, но и анализируют уровень их абстракции, а затем выполняют планирование последовательности действий. В дальнейшем методы обучения будут совершенствоваться и появятся специализированные библиотеки под такие задачи.

Появление более сложных систем расчёта траектории движений. Во время своей работы многоосевые манипуляторы оперируют в программно-заданных рабочих зонах и имеют локомоторные ограничения. Поэтому они часто сталкиваются с проблемой, которая известна как кинематическая сингулярность. Попав в определённое положение, манипулятор может потерять ориентировку и, как следствие, управляемость и остановиться. Новые версии планировщиков траектории движений смогут решить часть этих проблем.

50.

Пример возникновения кинетической сингулярности при ориентировании сразу четырёх суставов по одной оси

Источник: <https://www.universal-robots.com>



8. Сенсорика и органы восприятия окружающей действительности

Развитие модульных решений, которые включают набор аппаратного и программного обеспечения для разработки роботов разного уровня сложности. Такие решения включают инструменты для обеспечения распознавания объектов, определения глубины, избегания препятствий, визуальной локализации и т. д. Например продукт *Robotics RB3 Development Full kit* от компании *Qualcomm*. Развитие таких *development kits* позволит быстрее создавать более сложные продукты, повышать их качество, удешевлять процесс создания финального продукта.

Повышение плотности интеграции — в одном чипе будет увеличиваться количество способов измерения. Например, анонсировали появление однокристалльного ультразвукового дальномера, что раньше было невозможно. Вместе с этим вырастет степень интеграции: станут эффективнее такие устройства, как трехмерные видеокамеры *Intel RealSense*, которые совмещают несколько видов сенсоров, агрегируют информацию с них и выдают результат в виде трёхмерной карты.

Некоторые технологии робототехники вполне могут стать отдельными системами. Уже появились

одноплатные компьютеры (например, *Jetson AGX Xavier*), которые можно назвать, как *HRI-on-Chip* (*Human Robot Interaction-On-Chip*). В таких решениях уже присутствуют «зашитые» в аппаратную часть программы распознавания и синтеза голоса, жестов, объектов и т. п.

Улучшение сенсорных возможностей роботов по ряду метрик: точность распознавания лиц, мимики, жестов, голоса, эмоций, шумов. Например, идущий сейчас научно-исследовательский проект российской компании «Центр речевых технологий» «*Нейроухо*» позволяет устройствам слышать и распознавать нехарактерные шумы и понимать природу воспринимаемых звуков. Это дает системе возможность выделять определённые события и рассылать уведомления, управлять видеокамерами и т. п.

Снижение стоимости лидаров, радаров и других сенсоров обязательно произойдёт в пятилетней перспективе. Это сделает технологии ещё более доступными. Поэтому даже простых бюджетных роботов можно оборудовать продвинутыми сенсорами (лидарами, радарными). Уже сейчас пылесос *Xiaomi* оборудован лазерным дальномером.

Российская компания «Когнитивные технологии», разрабатывающая программно-аппаратный

51.
Intel RealSense D435i.
Восприятие глубины
от 0,1 до 10 метров,
до 90 кадров в секунду

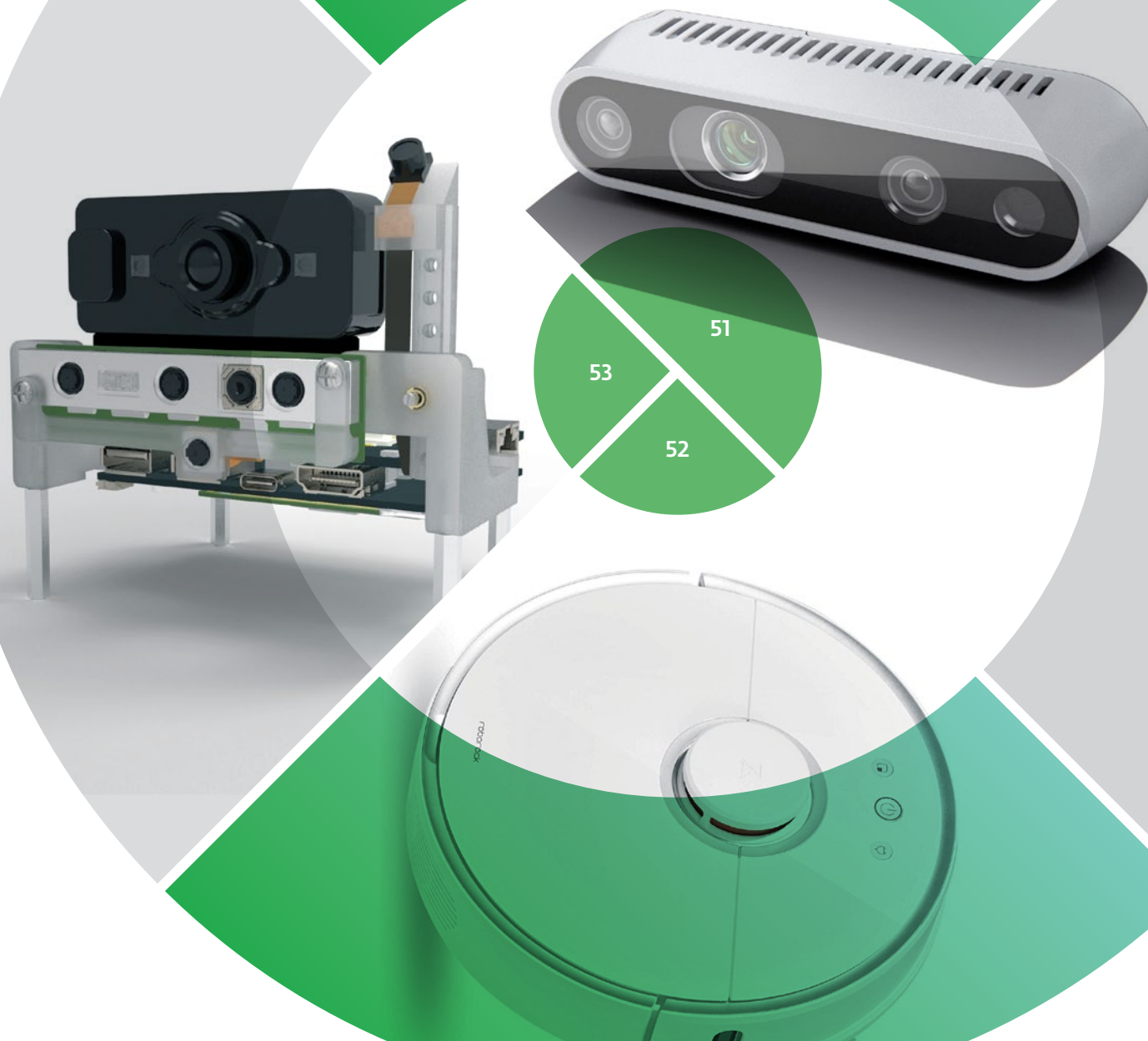
Источник: <https://www.intelrealsense.com>

52.
Лидар робота пылесоса
Xiaomi Smart Vacuum, 360°,
5 Гц, до 6 метров

Источник: <https://www.amazon.ca>

53.
Robotics RB3
Development
Full kit от компании
Qualcomm

Источник: <https://www.qualcomm.com>



комплекс для беспилотных транспортных средств представила в 2018 г. 4D-радар, который способен в любую погоду детектировать координаты, скорость и форму объектов, комплексируя эти данные с видеопотоком, получаемым с камеры оптического диапазона. Стоимость такого комплекса не будет превышать несколько сотен долларов.

Помимо удешевления лидаров, мы ожидаем, что на рынке появятся достаточно надёжные твердотельные лидары (лазерные дальномеры). Твердотельные лидары дешевле, быстрее и обеспечивают более высокое разрешение. Также такие приборы долговечнее, поскольку в них нет подвижных элементов.

Сейчас ещё нет коммерчески доступных лидаров, которые бы отвечали высоким требованиям потребителей автомобильной отрасли. Все проекты находятся на стадии лабораторных образцов. Но высокий спрос со стороны производителей беспилотных автомобилей и других типов роботов способствует появлению решений для массового использования.

Например, компания *BMW* планирует использовать твердотельные лидары от стартапа *Innoviz* для своих беспилотных автомобилей 3-5-го уровня автономности. Вывести первые машины на улицы планируется к 2021 г.³⁰

³⁰ *Machine learning / Reinforcement learning*

9. Робосимуляторы — цифровые двойники робототехнических систем с использованием технологий ML/RL*

Потребность в данных для обучения нейросетей (датасетах) формирует спрос на создание виртуальных симуляторов, максимально приближённых к реальности.

Мы можем выделить следующие причины применения и развития робосимуляторов:

- робосимуляторы востребованы в тех случаях, когда запускать и тестировать алгоритмы на некоторых роботах небезопасно для человека;
- робосимуляторы применяются, когда нужно провести большое количество экспериментов. Например, *OpenAI* обучал нейронную сеть по открыванию/закрыванию дверей в симуляторе;
- робосимуляторы смогут сэкономить на подготовке датасетов для моделирования проектов со сложной кинематикой и большим количеством движений.

Повышение сложности решаемых задач потребует создание робосимуляторов с более естественными

условиями тестирования. На протяжении последних лет популярными решениями остаются 3D-симулятор с открытым кодом *Gazebo* и среда разработки компьютерных игр *Unity*. Однако появляются и новые симуляторы, например для беспилотного транспорта: *AirSim* от *Microsoft Research* и *CARLA* от учёных, которых поддерживают *Intel* и *Toyota Research Institute*. Примечательно, что у обоих симуляторов открыт исходный код.



54.
*Rethink Robotics SDK
для робота Sawyer
в симуляторе Gazebo*

Источник: <https://rethinkrobotics.interaforum.com>

55.
Робот Sawyer

Источник:
<https://prnewswire.com>



10. Новые принципы приводных механизмов

Медленное эволюционное улучшение существующих приводов. Мы не наблюдаем предпосылок для фундаментального изменения и увеличения производительности классических приводов. Развитие программного обеспечения незначительно увеличит точность гидравлики и электроприводов и снизит энергопотребление.

Электроника сейчас стала достаточно производительной, чтобы просчитывать всё на борту. Например, робот *Cheetah 3* умеет делать обратное сальто, аккуратно приземляться при падении и самостоятельно подниматься на ноги. В дальнейшем уменьшится электронная составляющая за счёт галлиевых элементов и новой электроники, приводы станут компактнее. Однако это не приведёт робототехнику к подлинным биоморфным роботам: все текущие роботы основаны на вращении одной части механизма относительно другой. Тогда как в человеке и других животных таких частей нет вообще. Для перемещения себя и предметов окружающего мира люди и животные используют совсем другие принципы.

Электродвигатели будут доминировать, постепенно расширяя сферы применения.

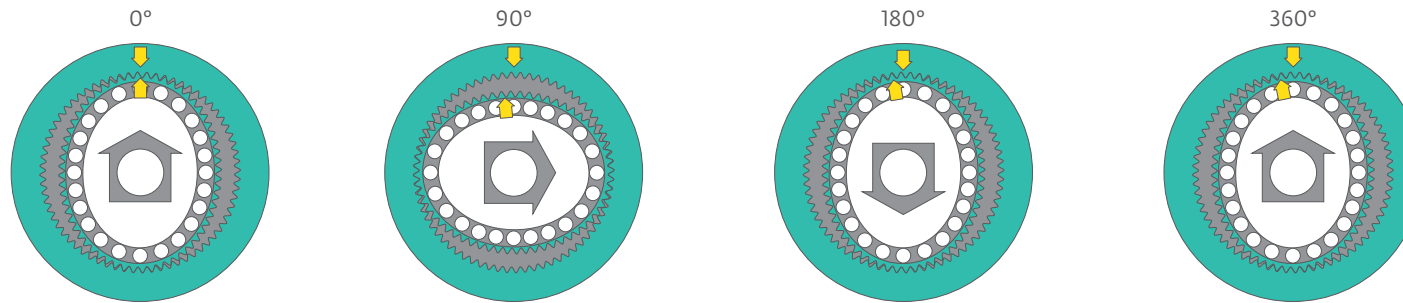
Будет уменьшаться количество применений с непрограммируемыми приводами. Повысится КПД электродвигателя за счёт:

- векторного управления. Доказано, что изменение угла коммутации при векторном управлении может изменять характеристики двигателя для достижения лучших показателей эффективности³¹;
- точечных улучшений, например создания транзисторов на основе нитрида галлия.

Бесколлекторные двигатели станут ближе к массовому внедрению за счёт кардинального снижения стоимости блоков управления к ним и уменьшения размеров этих блоков. В результате бесколлекторный двигатель можно установить в те устройства, к которым раньше подходил только коллекторный. Важно отметить, что редкоземельные металлы, применяемые в производстве магнитов для бесколлекторных двигателей, добываются по большей части в Китае. На него приходится около 80% всех мировых поставок³².

Применение волновых редукторов в приводных механизмах набирает популярность. Такие редукторы обладают рядом конструктивных преимуществ, которые позволяют делать конструкцию

56. Принцип действия волнового редуктора



Источник: <http://www.harmonicdrive.net>

узлов компактнее, что особенно критично для конструкций антропоморфных роботов. Они простые по конструкции, но чрезвычайно требовательные к качеству материалов и культуре производства и позволяют обеспечить большее передаточное отношение при меньшем количестве деталей. Узлы, в которых применяются волновые редукторы, получаются легче и обладают высокой кинематической точностью и плавностью хода.

Рост их популярности привёл к дефициту: крупнейший производитель *Harmonic Drive* пока не справляется со спросом, что сдерживает развитие данного типа механизмов. Ожидается, что появятся конкуренты из Китая и предложение увеличится.

Создание принципиально новых видов двигателей. Ведущиеся разработки, такие как уже упоминавшиеся термоактивные кристаллы от токийского Университета Васеда или электроактивные полимеры, в перспективе могут дать толчок производству и промышленному применению двигателей и актуаторов нового типа. Отход от преобразования вращения электродвигателя к использованию изменения формы позволит задуматься о создании структур, похожих на мышечную ткань живых организмов. Мышечная ткань животных высокоэффективна, но она использует химические источники энергии. Такие перспективные материалы и проектируемые на их основе актуаторы и двигатели сделают возможным появление роботов с минимальным количеством традиционных механических элементов.

11. Способы производства роботов и технологии сквозного проектирования робототехнических систем

Программное обеспечение для проектирования становится более продвинутым. Создание цифровых аватаров-помощников ещё больше упростит работу конструктора. Например, экспертные системы дают конструктору автоподсказки по материаловедению, компонентной базе и способах обработки. Инструменты быстрого прототипирования, такие как библиотеки электронных компонентов с готовыми модулями или качественные цифровые двойники изделий, сделают цикл разработки быстрее.

Благодаря облачным сервисам конструктор сможет эффективно работать в команде, а технологии VR/AR позволят ему проектировать в реальном масштабе, осуществлять авторский надзор, проводить удалённую диагностику или консультации при монтаже. В 2019 г.

57. Профессиональный 3D-принтер, который использует пластик Stratasys

Источник: www.stratasys.com



58. Vr-перчатки Haptx позволяют пощупать виртуальную реальность

Источник: <https://vrgeek.ru/>



компания *Nissan* представила возможность применения *VR* для проектирования автомобилей. Для погружения дизайнера в виртуальную реальность используются перчатки *Haptx*, которые способны передавать пользователю тактильные ощущения для создания эффекта погружения³³. Перчатки позволяют создавать быстрые прототипы в *VR* для тестирования. Такие технологии получат широкое распространение, что в перспективе повысит качество и скорость проектирования.

Удешевление 3D-печати из металлов и повышение качества печати из пластика произойдёт за счёт многократного повышения точности печати при сохранении той же стоимости. В широком доступе появятся более прочные и дешёвые пластики для экстремальных условий, которые можно использовать не только для прототипирования, но и на производстве. Уже доступен специализированный пластик *Stratasys*, который применяют для производства космической техники. Однако цена такого пластика в виде порошка пока достигает 200–300 тысяч рублей за 1 кг.

Развитие аддитивного производства и оптимизация программного обеспечения сделают возможным переход к более эффективным конструкциям. Уже сейчас одну и ту же деталь можно делать легче благодаря усовершенствованию внутренней

структуры. Для этого достаточно указать вес и необходимую форму в специализированной программе, и она покажет оптимальный образ детали с минимальным весом и оптимальными прочностными характеристиками. В ближайшем будущем сложность конструкций, проектируемых таким образом, будет расти при одновременном снижении веса и, следовательно, материале ёмкости. Это улучшит эстетику решений, что важно в промышленном дизайне. Аддитивные технологии обеспечат гибкость производства — появится вариативность, то есть возможность оперативно производить различные объекты и детали на одном и том же оборудовании.

Переиспользование старой базы для автоматизации — новое дыхание в старые технологии. По мере морального и физического устаревания постепенно накапливается база старых роботов и механизмов. Возможно предположить, что такие механизмы будут восстанавливать и снабжать более совершенным оборудованием под новые задачи или процессы. Например, в материалообработке существует практика дооснащения оборудования средствами числового программного управления, и можно предположить, что следующим шагом в такой модернизации может стать роботизация станочных парков.

Тренды, влияющие на современный образ робототехники

1. (Де)глобализация мировой экономики

Директор лаборатории БРИКС Колумбийского университета Маркос Тройхо называет период с 1991 по 2008 г. «Давосским миром», а период с 2008 г., который продолжается до сих пор, деглобализацией³⁴. Мы будем понимать под деглобализацией ослабление международных экономических связей, которое характеризуется усилением роли факторов, связанных с национальными интересами. Деглобализация сопровождается рядом явлений в финансовой сфере³⁵:

- замедлением темпов экономического роста после 2008 г., что привело к увеличению спроса на протекционистские меры во многих государствах мира;

Влияние на робототехнику

Нарушение торговых связей между отдельными странами, риски введения торговых пошлин и экономических санкций повышают важность национальных разработок в робототехнике и других прорывных технологиях.

На фоне ослабления внешней торговли производители ищут новые пути повышения эффективности производства. Это ведёт некоторые компании к решению о возврате части производственных мощностей «на родину», что может создать дополнительный спрос на автоматизацию производства как средство сокращения издержек.

- сокращение объёмов международной торговли в результате ослабления мирового спроса и введения пошлин на импорт в ряде стран. Доля внешней торговли в мировом ВВП после 2008 г. снизилась до 55%, хотя до этого момента она достигала 60%. Ежегодный прирост ее объемов не превышает 2% и сильно отстает от темпов роста ВВП;
- сокращение потока международного капитала — в основном банковские кредиты. Доля капитала в мировом ВВП упала с 16% в 2007 г. почти до 2%.

Примечательно, что дезинтеграционные процессы ярко выражены в странах, которые способствовали построению международного порядка во второй половине двадцатого века. В 2016 г. Великобритания после национального референдума приняла решение о выходе из состава Европейского союза. Затем в 2017 г. США вышли из Транстихоокеанского партнёрства (ТТП). Официальной причиной выхода считалось негативное влияние условий соглашения ТТП на сокращение рабочих мест в стране. Следующим проявлением деглобализационных процессов со стороны США стала «торговая война» с Китаем. В начале 2018 г. Президент США Д. Трамп установил тариф на ввозимые в страну солнечные батареи — 30%. Эта мера была направлена в первую очередь против Китая как мирового лидера в производстве солнечных батарей.

Далее США ввели пошлины на бытовую технику, медицинские товары, сталь, алюминий и широкий ассортимент китайских товаров. Поводом для этого стало американское расследование о краже Китаем интеллектуальной собственности США, по результатам которого стало известно, что Китай нарушал интеллектуальные права, нанося тем самым вред американской торговле.

Китай в ответ ввел пошлины на продукты питания, алюминиевый лом и другие товары. Торговая война к 6 июля 2018 г. привела к тому, что Китай и США наложили торговые пошлины на товары общей стоимостью \$68 млрд³⁶. До конца 2018 г. обе стороны ввели дополнительные пошлины. В конце 2018 — начале 2019 г. ведутся активные переговоры по урегулированию кризиса. Несмотря на яркие вспышки дезинтеграции в США и Европе, Китай и другие страны предпринимают попытки активизировать «глобализацию 2.0» за счёт инвестиций в крупные инфраструктурные проекты, которые направлены на укрепление тесных торговых и финансовых связей.

2. Решоринг производства

Ослабление внешней торговли сопровождается решорингом — возвратом выведенных за рубеж производств. Ряд крупных мировых производителей возвращают часть своих производственных мощностей из стран Юго-Восточной Азии «на родину». Решоринг начался в США, чему способствовали низкие затраты на энергию в результате бума сланцевого газа.

По данным лоббистской компании *Reshoring Initiative*, поддерживающей процессы решоринга в США, с 2010 г. в этой стране было создано 576 000 рабочих мест за счёт иностранных инвестиций и решоринга (рисунок 59). Это максимальное значение за последние 10 лет.

За последнее десятилетие крупнейшие американские производители *Apple*, *General Motors*, *Boeing*, *Ford* создали тысячи рабочих мест в родной стране (рисунок 60). Производители из других стран также открывают в США свои производства. Например, *Adidas* открыла автоматизированный завод в Атланте (США). Там производят товары, предназначенные для местного рынка, например кроссовки *AM4NYC (Adidas made for New York City)*.

На новом производстве работает всего 160 человек, а скорость производства увеличилась в три раза по сравнению с заводами *Adidas* в Азии,

на которых занято более 1000 рабочих. По оценкам *Reshoring Initiative*, сокращение корпоративного налога, снижение нормативных издержек и снижение курса доллара создают условия для ускорения процесса решоринга в США.

В Европе также ряд крупных производителей включились в решоринг. Британский производитель пылесосов *Gtech* планирует перенести часть производственных мощностей из Китая в Вустершир (Великобритания). Обувная компания *Clarks* переносит производство из Азии в Сомерсет (Великобритания). А французский спортивный бренд *Le Coq Sportif* возвращает производство из Вьетнама во Францию.

Основные причины решоринга — рост заработной платы и проблемы на производстве в Юго-Восточной Азии. Раньше низкие затраты на труд в Китае и других странах Юго-Восточной Азии привлекали производства со всего мира. Однако за период с 2005 по 2016 г. заработная плата на производстве в китайских провинциях увеличилась втрое³⁷ и производители начинают искать новые пути снижения издержек. Среди других причин решоринга представители бизнеса отмечают:

- использование азиатскими фабриками несанкционированных поставщиков или компонентов;

Рисунок 59. Динамика рабочих мест, созданных за счёт рещоринга или прямых иностранных инвестиций, человек

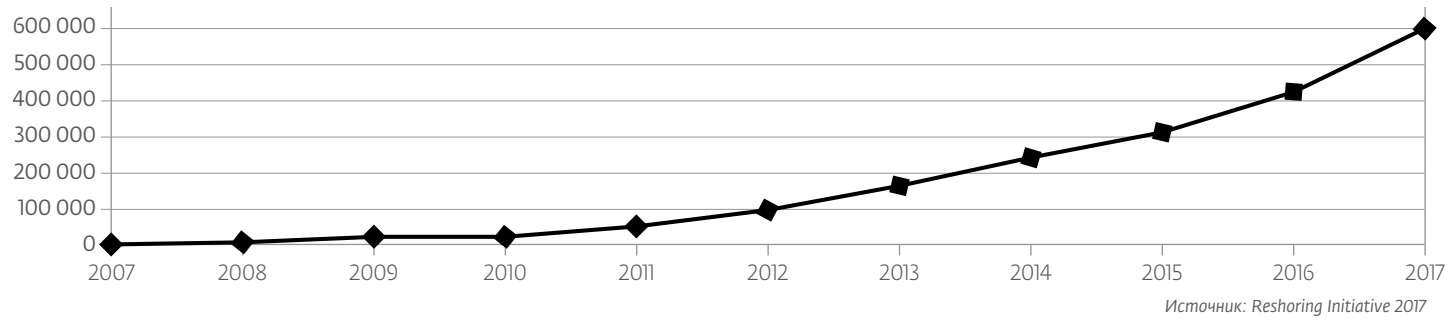
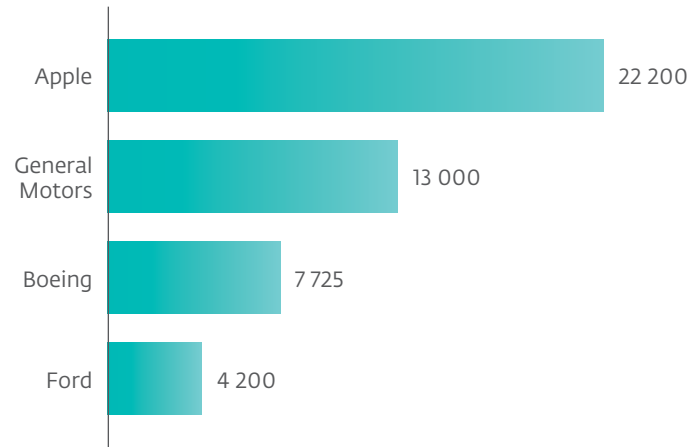
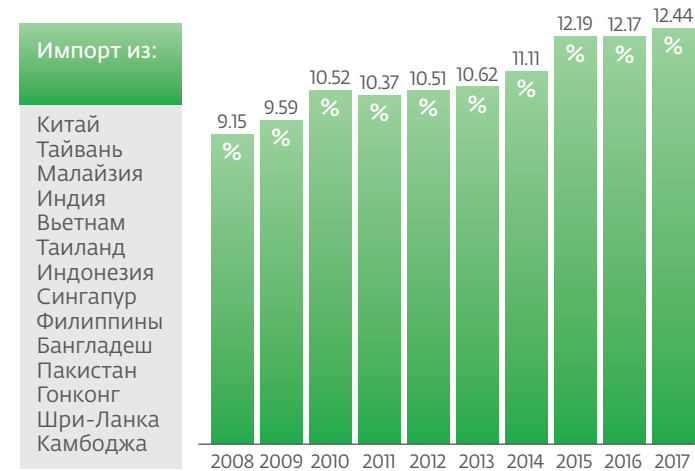


Рисунок 60. Количество рабочих мест, созданных американскими компаниями в США, по данным на середину 2018 г., человек



Источник:
<https://monroeengineering.com>

Рисунок 61. Динамика доли импорта товаров в США из развивающихся стран (в процентах от ВВП)



Источник: US International Trade Commission;
US Department of Commerce Bureau of Economic Analysis; A.T. Kearney analysis

Влияние на робототехнику

Существует ряд причин, которые вынуждают производителей искать новые способы повышения эффективности бизнеса:

- замедление темпов мировой торговли,
- удорожание труда в развивающихся странах,
- низкое качество продукции и другие проблемы удаленного производства.

Решоринг стал одним из путей оптимизации производства. Однако он сдерживается нехваткой квалифицированных кадров на «родине», высокими затратами на создание новых производств и другими экономическими

факторами. Решить эти проблемы может автоматизация производства, которая становится дешевле и эффективнее человеческого труда. Повышение спроса на роботизированные решения будет подпитывать отрасль робототехники дополнительными инвестициями и вниманием со стороны R&D.

В результате рост производительности и удешевление производства, связанные с автоматизацией, позволят компаниям возвращать часть производственных мощностей в страну происхождения, пользуясь преимуществами решоринга. Всё чаще будет выгодно использовать аддитивные или автоматизированные технологии производства на отечественной почве, чем набирать и поддерживать всё более дорогую рабочую силу за рубежом.

62. Внутри новой фабрики Adidas, где кроссовки делают роботы

Источник: <https://rb.ru/story/adidas-speedfactory/>



- производство продуктов, которые в худшую сторону отличаются от образцов;
- низкое качество конечного продукта;
- кража интеллектуальной собственности.

Преимущество решоринга состоит в том, что возврат производства позволяет компаниям упростить цепочки поставок, обеспечить более короткие сроки поставок и улучшить контроль за производственным процессом. За счёт этого производители могут сократить время выполнения заказа и быстро адаптировать продукцию для местных потребителей.

Дальнейшие перспективы решоринга неясны. Мировые производители обратили свое внимание на возможность снижения издержек за счёт решоринга. Однако более мелкие производители не спешат возвращать свои производственные мощности. Об этом свидетельствуют результаты отчёта *US Reshoring Index*, который ежегодно выпускает консалтинговая компания *A.T. Kearney*³⁸. Согласно отчёту, решоринг в США идёт в обратном направлении: американские производства не возвращаются массово, а темпы роста импорта превышают валовый внутренний объем производства.

Так, с 2013 по 2017 гг. импорт промышленных товаров из 14 крупнейших стран Азии в США вырос в стоимостном выражении на 19%, а валовая продукция обрабатывающей промышленности США выросла только на 1% (рисунок 61). Данные за 2018 г. будут опубликованы только в середине 2019 г., но значительные изменения не ожидаются.

Пока решоринг остается точечным явлением. Многие компании инвестировали значительные средства в зарубежные производства и не готовы отказываться от будущего эффекта от вложений. Чтобы нивелировать рост зарплат в Китае, они переносят производства во Вьетнам, Мексику и другие «дешёвые» страны. Для повышения качества продукции компании ужесточают контроль на местах.

Ещё одним сдерживающим фактором становится нехватка квалифицированной рабочей силы, которая понадобится в случае открытия новых производств.

3. Автоматизация производства

По данным Международного экономического форума WEF, 29% мирового производства автоматизировано. Для сравнения, в 2022 г. доля машин и алгоритмов в рабочем времени составит уже 42%, в 2025 г. — 52% (рисунок 63). Роботы будут выполнять всё больше работы за людей, однако смогут взять на себя не всю работу, а лишь часть задач. По некоторым оценкам, только четверть рабочих мест могут быть автоматизированы свыше чем на 70%. В зависимости от сферы применения показатели автоматизации могут варьироваться. Например, в области обработки данных автоматизировано в настоящее время около 47% всех процессов, к 2022 г. будет уже 62%, а в области принятия управленческих решений — всего 19% (до 28% — к 2022 г.).

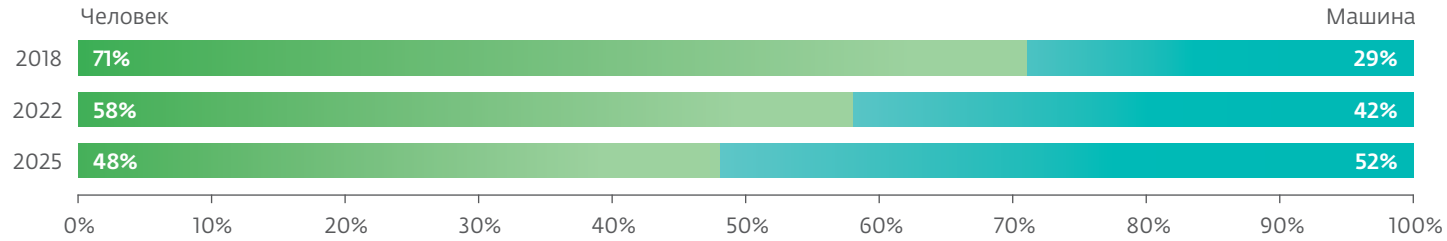
С помощью технологий, которые доступны сегодня, можно автоматизировать 45% задач обычной компании. Если рассматривать отдельные сектора рынка, то, по мнению экспертов, наиболее уязвимой перед роботизацией отраслью считается сфера гостиничного и ресторанного бизнеса — порядка 75% процессов там можно автоматизировать существующими технологиями. На втором месте — добыча ископаемых (63%) процессов. В производстве можно автоматизировать около 30% всех процессов. Малый процент автоматизации

в этой отрасли связан с высоким текущим уровнем автоматизации — производство близко к точке насыщения в отличие от других отраслей.

Автоматизации ещё предстоит доказать свою эффективность, поскольку ее потенциал в текущем моменте не всегда оправдывает хороший результат. Мы можем проследить это на примере гостиничного бизнеса — отрасли с высоким потенциалом для автоматизации. Уже сейчас любой отель может быть в большей степени автоматизирован. Однако для этого есть объяснимые препятствия. В отелях высокого класса применение роботов ограничено человеческим фактором — клиенты дорогих гостиниц ждут персонализированного сервиса от людей. Поэтому автоматизация здесь не востребована. В отелях классом ниже она возможна, но слишком дорога, и уровень технологий не соответствует ожиданиям. Показателен здесь пример отеля *Непп-па* из японского города Сасебо в Японии. Он запускался в 2015 г. как первый в мире отель с роботизированным персоналом. На начало 2019 г. там насчитывалось 243 робота — администраторы, носильщики, ассистенты, уборщики. Однако 120 из них пришлось «уволить». Роботы плохо справлялись со своими обязанностями и создавали дополнительную работу для персонала. Поэтому мы хотим подчеркнуть, что высокий потенциал автоматизации ещё не означает эффективность для бизнеса.

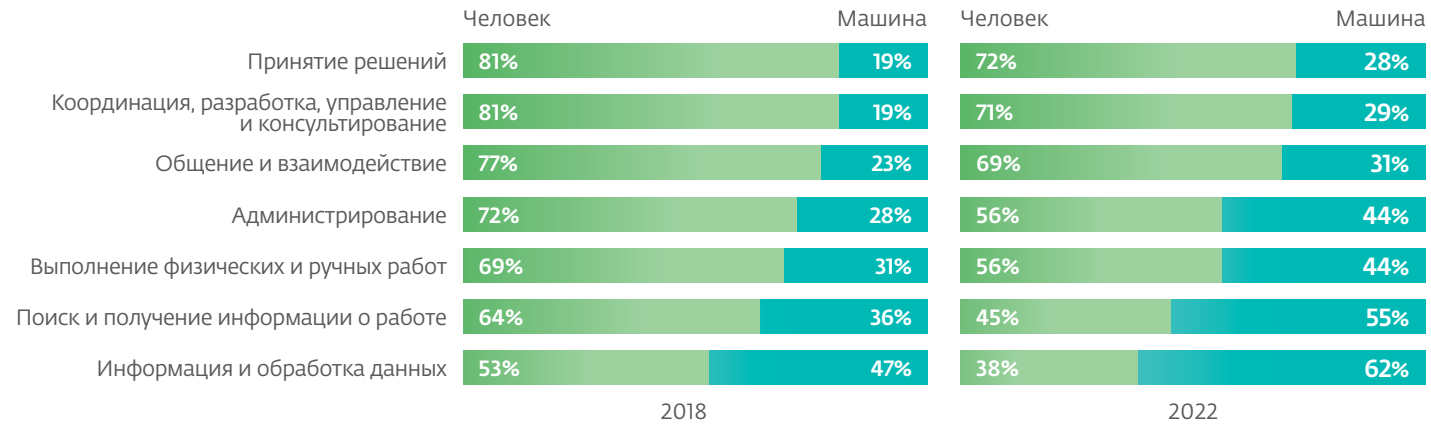


Рисунок 63. Уровень автоматизации, соотношение рабочих часов (%)



Источник: WEF "The Future of Jobs", 2018

Рисунок 64. Объём работы, выполняемой человеком и роботом в 2018 г. (слева) и 2022 г. (справа)



Источник: WEF "The Future of Jobs", 2018

Рисунок 65. Какую часть работ можно автоматизировать с существующими технологиями, %



Источник: McKinsey Global Institute "A future that works: automation, employment and productivity", 2017

Влияние на робототехнику

Развитие технологий и удешевление решений в скором времени создадут условия для масштабной автоматизации за пределами промышленной отрасли. Её перспективы ограничиваются только скоростью развития технологий. Распознавание эмоций, генерация естественной речи и другие технологии, которые пока не столь широко применяются в промышленном масштабе, позволят передать роботам еще больше задач в каждой из отраслей.

66. Робот-велосипедист на стойке регистрации японского отеля Напп-на пока не научился быстро и качественно обслуживать клиентов

Источник: <https://www.scmp.com>



4. Изменения в структуре общества

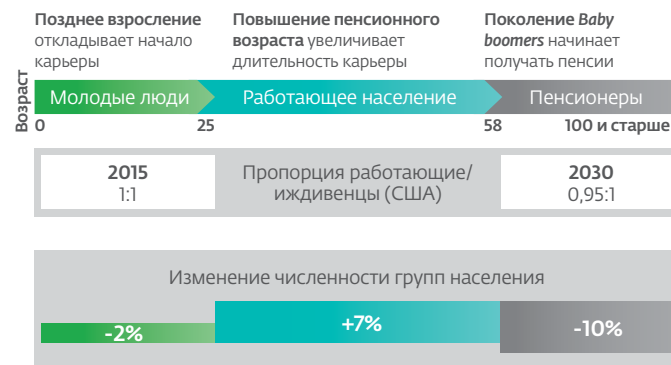
Старение населения при спаде рождаемости в развивающихся странах приводит к нехватке работников. Ожидается, что примерно в середине XXI века средняя продолжительность жизни на планете приблизится к 80 годам и, соответственно, значительное число людей будут жить до 100 лет и более. Увеличение продолжительности жизни в развитых странах сопровождается сокращением рождаемости; этот переход уже произошёл в развитых странах, где один или два ребенка на семью являются нормой, и в настоящее время это происходит в быстро урбанизирующихся странах Азии, Африки и Латинской Америки. В дальнейшем доля молодёжи в мировом населении будет снижаться, а доля людей старше 65 лет будет расти.

В результате общее старение населения приведет к нехватке квалифицированных работников. По оценкам Бюро трудовой статистики США, относительная доля работающего населения в США к 2030 г. снизится до менее чем одного работающего на одного иждивенца, что приведёт к дефициту работников. Такая же ситуация наблюдается в Европе. Например, в Германии средний возраст населения составляет 46 лет. Для сравнения, в 2000 г. этот показатель не превышал 40 лет,

Рисунок 67. Ожидаемая продолжительность жизни по регионам мира



Рисунок 68. Старение населения приводит к нехватке работников



Источник: US Bureau of Labor Statistics, Bain & Company, 2018

в 1970 г. — 34 года³⁹. Недавнее исследование международного Фонда Бертельсманна показало, что в 2020 г. на одного гражданина Германии старше 65 лет будет приходиться три работника, но к 2035 г. соотношение станет один к одному⁴⁰.

Это приведёт к тому, что к 2030 г. Германия столкнется с нехваткой квалифицированных рабочих в три миллиона человек. Рано или поздно такая ситуация коснётся практически всех развитых и многих развивающихся стран.

Помимо демографической структуры, меняется и социальное устройство общества. В последние годы эксперты говорят о новом социальном классе работников, для которого характерны временная или частичная занятость, усечение прав и социальных гарантий — так называемый прекариат. В состав этого социального слоя обычно включают⁴¹:

- трудоспособное население, занятое постоянно на временной работе;
- люди, работающие неполный рабочий день или перебивающиеся сезонными и случайными приработками;
- безработное население;



Влияние на робототехнику

Нехватка работников в возрасте 21–55 лет в результате старения населения и спада рождаемости потребует поиска новых решений. Компании пойдут по двум направлениям:

- 01) *устранение дефицита за счёт автоматизации процессов и внедрения роботов на производстве;*
- 02) *создание подходящих условий для старых, но опытных работников.*

В первом случае роботы просто заменяют недостающие кадры или повысят эффективность молодых работников. На производстве один специалист управляет несколькими автоматизированными сборочными системами при помощи интуитивно-понятной системы. На складе десятки логистических роботов сканируют, пакуют и развозят товары, а один оператор следит за корректной работой всей системы.

Во втором случае роботы помогут создать комфортные условия для работы пожилых работников высокой квалификации. Для пожилых людей, обладающих ценным для компании опытом, будут предлагаться новые решения для упрощения их труда: экзоскелеты или автоматизированные кресла для снятия нагрузки, коллаборативные роботы для выполнения манипуляций с тяжёлыми предметами. Например, на крупнейшем в Европе автомобилестроительном заводе BMW в Баварии операторы, которые раньше самостоятельно поднимали и устанавливали детали для автомобильных трансмиссий, теперь работают вместе с коллаборативными роботами производства KUKA.

69. *Работник на производстве Porsche в Германии работает над автомобилем, сидя в удобном автоматизированном кресле*

Источник: <https://www.ft.com>

- люди, занимающиеся фрилансом;
- мигранты;
- студенты и стажеры.

Прекариат отличается неустойчивым социальным положением — слабой социальной защищённостью и отсутствием многих социальных гарантий. Работники имеют нестабильный доход и в любой момент могут оказаться без работы. При этом они не имеют социальных гарантий, предоставляемых работодателем. Многие представители прекариата работают на цифровые компании. Это водители *Uber*, разносчики еды из «Яндекс.Еды», наёмные работники на сервисе *YouDo*. Такие компании, как правило, не имеют материальных активов и строят бизнес на основе платформ, в основе которых лежат компьютерные алгоритмы. В результате прекариатом управляют не люди, а буквально алгоритмы.

Влияние на робототехнику

Наступила эра, когда алгоритм определяет, что делать человеку. Программисты решают задачи по оптимизации алгоритмов, чтобы те эффективнее управляли потоками работников.

Такая бизнес-модель доказала свою успешность и способствует финансированию подобных решений.

Постепенное совершенствование алгоритмов, развитие технологий и спрос на автоматизацию приведёт к тому, что прекариат станет невостребованным: его заменят автономные самоуправляемые роботы — беспилотные автомобили, роботы-курьеры или роботизированные помощники.

5. Развилки в миграционной политике разных стран

Миграционный кризис и политические решения привели к ужесточению иммиграционной политики в США и Европе. В 2015 г. было зарегистрировано наибольшее количество ходатайств о предоставлении убежища в Европейском союзе (ЕС).

Это случилось в связи с миграционным кризисом, когда в течение нескольких месяцев многократно увеличился поток беженцев и нелегальных мигрантов из стран Северной Африки, Ближнего Востока и Южной Азии. По данным аналитического ресурса *Statista*, в 2015 г. было подано более одного миллиона заявлений на предоставление убежища (рисунок 70). ЕС оказался не готов к приёму и распределению беженцев. В результате неконтролируемый наплыв мигрантов вызвал иммиграционный кризис и, как следствие, негативное отношение со стороны некоторых групп европейского населения.

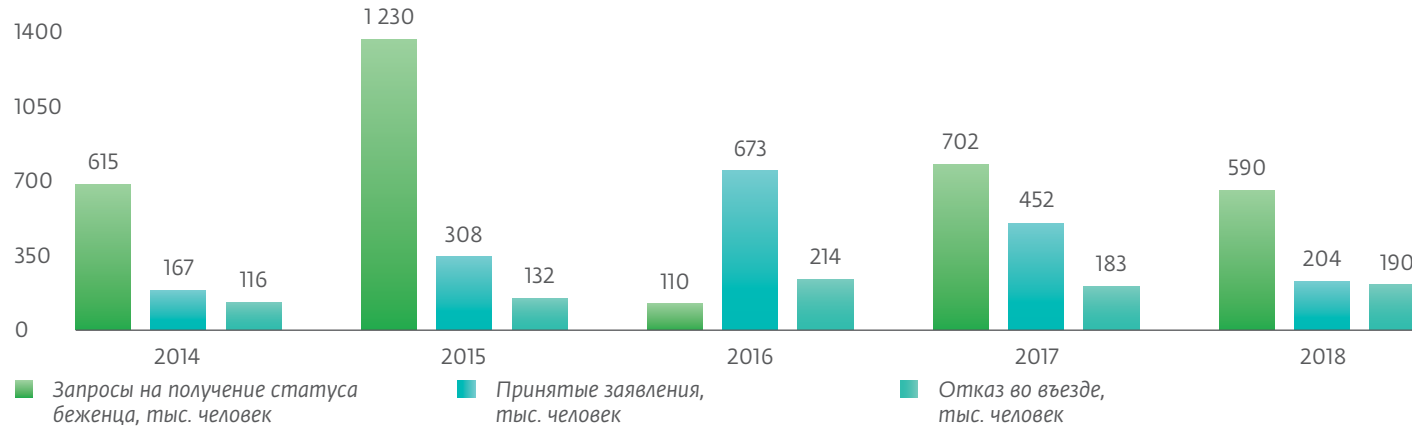
Рост ИГИЛ (запрещена на территории РФ) и увеличение количества террористических атак по всему миру усугубили сложившуюся ситуацию. Евросоюз и государства-члены одобрили политику, направленную на ограничение прибывающих лиц

Влияние на робототехнику

Эскалация иммигрантского кризиса в США и Европе и сокращение потока иммигрантов может привести к нехватке молодой рабочей силы. Учитывая старение населения и спад рождаемости в развивающихся странах, возникает дополнительный спрос на роботизированные решения для устранения дефицита кадров.

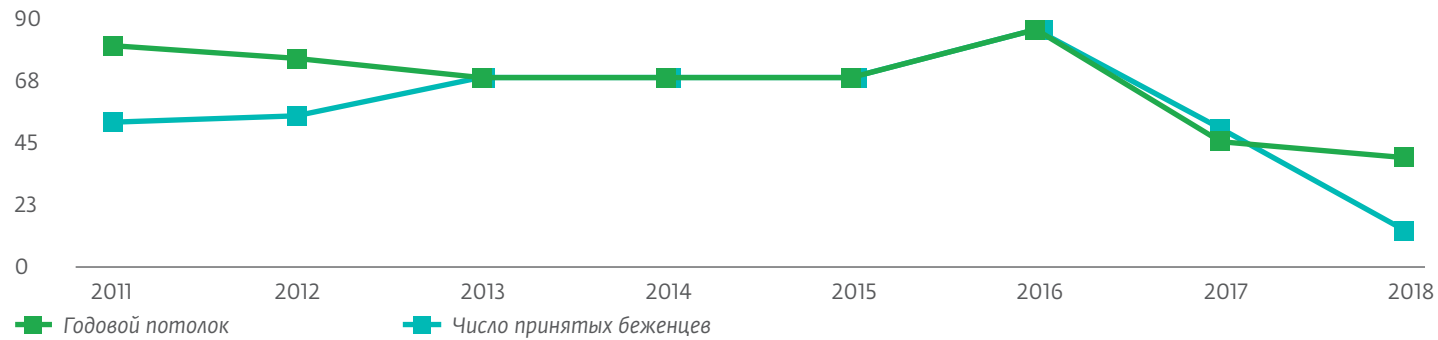
и передачу ответственности на себя регионам и странам за пределами ЕС. В результате, как мы видим из статистики, количество отказов от въезда мигрантов в ЕС за последние 10 лет выросло. При этом доля отказов в общем количестве поданных запросов в 2018 г. увеличилась с 26% до 32% (рисунок 70). Европа настроена на дальнейшее ограничение потока иммигрантов. В США также возникла напряженность, связанная с иммиграционным вопросом. В 2018 г. в стране ужесточили меры против иммигрантов, незаконно

Рисунок 70. Общее число лиц, обратившихся с просьбой о предоставлении убежища в Европейском союзе (ЕС) с 2009 по 2018 гг., тысяч человек



Источник: Statista

Рисунок 71. Динамика принятия беженцев в США, тыс. человек



Источник: Migration Policy Institute

Влияние на робототехнику

Решить проблему сокращения трудоспособного населения можно двумя способами:

- 01. повышением притока трудоспособных мигрантов.*
- 02. автоматизацией производства за счет роботов и других прорывных технологий.*

При этом насыщение рынка в первом случае потребует новых автоматизированных решений для управления малоквалифицированными кадрами. Возрастет интерес к таким решениям со стороны государства, появятся средства стимулирования развития этих решений.

или без необходимых документов, перешедших границу с США. В соответствии с этим решением более четырех тыс. бойцов Национальной гвардии США направили к патрулированию южных рубежей страны. Усиление контроля привело к тому, что в мае 2018 г. число задержанных нарушителей границы превысило 50 тыс. человек, что на 60% больше аналогичного показателя 2017 г.

Также в рамках мер, направленных на защиту страны от террористических атак, президент Трамп запретил гражданам семи мусульманских стран въезжать в США в течение 120 дней. Прием сирийских беженцев был прекращён на неопределённый срок. В результате ужесточения иммигрантской политики в США был снижен годовой норматив по приёму беженцев с 85 тыс. человек в 2016 г. до 45 тыс. человек в 2018 г. (рисунок 71).

В России наблюдается противоположная ситуация. Миграционная политика современной России направлена на привлечение иммигрантов из стран ближнего зарубежья в качестве низкоквалифицированной рабочей силы. Однако поток мигрантов в последние годы падает. Обычно это связывают с замедлением экономического роста в стране. Согласно данным Росстата, в 2018 г. в Россию приехало 565,7 тыс. иностранных мигрантов, что на 4% ниже, чем в 2017 г. (рисунок 72). При этом миграционный прирост (разница между

Рисунок 72. Динамика изменения иммиграции в России в 2011-2018 гг.

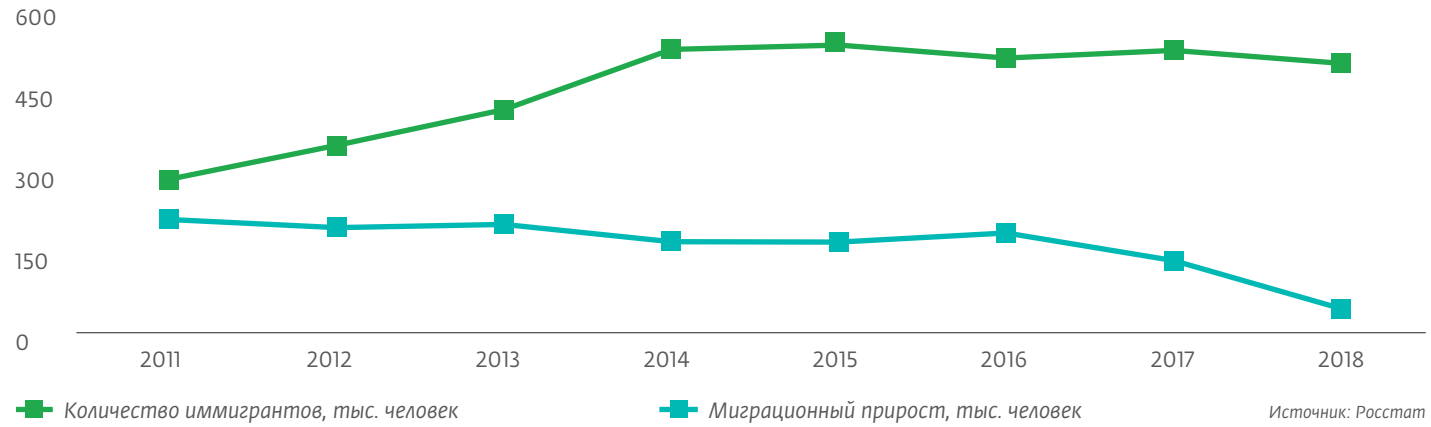
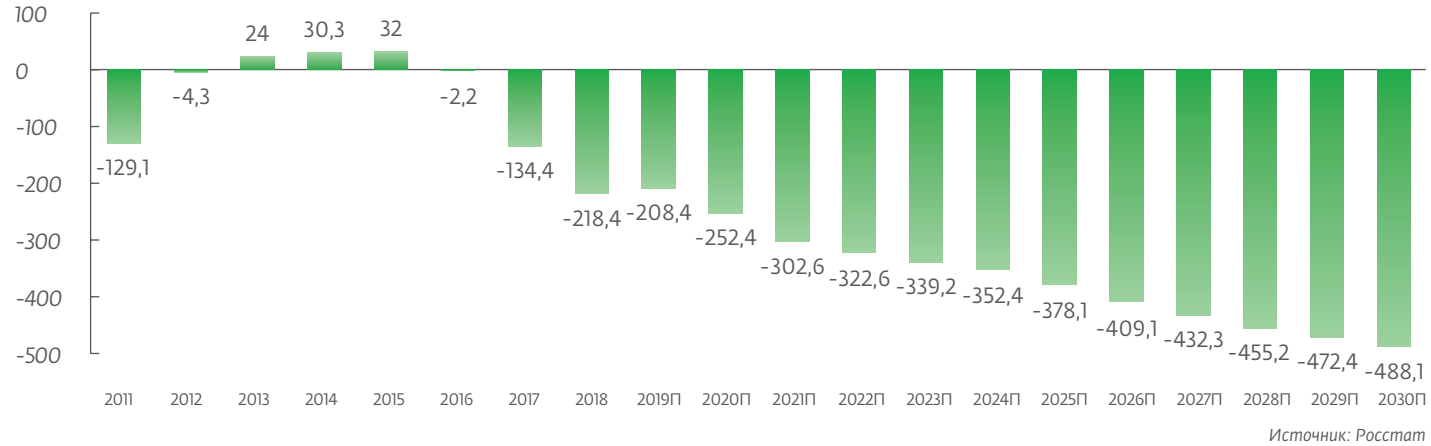


Рисунок 73. Динамика естественного прироста (+) / убыли (-) населения России, тыс. человек



прибывшими и выбывшими) по итогам 2018 г. снизился на 59% по сравнению с 2017 г.

Также в России с 2016 г. наблюдается стабильная естественная убыль населения: количество родившихся уменьшается, а число умерших в 2018 г. превысило число родившихся на 13,7%. В результате естественная убыль населения в 2018 г. зафиксирована на уровне 218,4 тысячи человек. Приток мигрантов уже не может компенсировать демографический кризис. По прогнозу Росстата, до 2030 г. убыль населения будет увеличиваться. Дальнейшее сокращение общей численности населения приведёт к острому дефициту работников в трудоспособном возрасте, что будет тормозить рост экономики страны.

6. Государственное стимулирование технологий



Технологии стали элементом геополитики и будут определять конкурентное преимущество на уровне стран и компаний. Одной из базовых обязательных технологий станет робототехника. По прогнозам аналитиков IDC, в период с 2018 по 2022 г. мировые расходы на покупку робототехники и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) будут расти в среднем на 19,6% и к 2022 г. достигнут \$201,3 млрд⁴².

Быстрое развитие робототехники обостряет международную конкуренцию в этой области. Правительства США, стран Евросоюза, Южной Кореи, Японии, Китая осознают, что робототехника станет следующей прорывной технологией (*next big thing*), и формируют государственные программы поддержки робототехники.

Программы государственной поддержки разных стран призваны объединить усилия науки, промышленности и государственной власти для развития робототехники. В обновлённой версии Дорожной карты по развитию робототехники в США подчёркивается, что робототехника является необходимым инструментом для развития науки, технологий, инженерного дела, математики и требует дополнительных исследований. В ноябре 2017 г. Национальный научный фонд США (NSF) выпустил программу «Национальная инициатива в области робототехники 2.0» (NRI-2.0). Программа фокусирует внимание на теме коллаборативности робота и человека. В ней обсуждаются возможности построения совместных команд людей и роботов, роботы с функцией многозадачности, развитие человеко-машинных интерфейсов. Документ NRI-2.0 расширяет взаимодействие между различными учреждениями США в вопросах развития робототехники, включая Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства,

Агентство перспективных исследований в области обороны и Министерство сельского хозяйства.

В рамках европейской программы развития робототехники SPARC в 2015 г. была разработана дорожная карта развития робототехники в Европе до 2020 г. Дорожная карта охватывает все основные сферы применения роботов: промышленность, сельское хозяйство, здравоохранения, транспорт, гражданскую безопасность, сферу услуг. Программа делает акцент на развитии не только крупных производственных предприятий, но и на средних и малых производствах для создания новых рабочих мест.

В 2018 г. Южная Корея начала разработку новой стратегии ускоренного развития индустрии интеллектуальных роботов. Министерство торговли, промышленности и энергетики страны выделило до 2020 г. \$467 млн для финансирования совместной инициативы по развитию индустрии роботов, которая охватывает множество вопросов, связанных с роботами внутри страны, и рассматривает роботов как одну из новых экспортных отраслей. Южная Корея планирует активно продвигать свою продукцию за рубежом.

Японская стратегия развития робототехники определяет курс на укрепление позиции Японии как лидера отрасли и рассматривает



«Когда сервисные роботы станут распространенными и начнут выполнять разнообразные задачи, например медицинские процедуры, поддержку реабилитации или борьбу с последствиями катастроф, жизнь всех людей, включая социально незащищенных, станет безопасной и комфортной.»

Мун Чжэ Ин,
Президент Республики Корея

Таблица 1. Перечень государственных программ поддержки робототехники

Страна	Название программы	Год	Основные направления	Инвестиции
США	A Roadmap for US Robotics From Internet to Robotics National Robotics Initiative 2.0	2017	Цифровое производство, медицина и здоровье, услуги. Акцент на взаимодействие между человеком и роботами. Отдельное внимание внедрению беспилотных автомобилей и коммерческих БПЛА. Поддержка через исследовательские гранты	Общее финансирование проектов превысит \$2 млрд на срок до 4 лет
Евросоюз	SPARC — Дорожная карта развития робототехники в Европе Robotics 2020	2015	Промышленные, медицинские, сельскохозяйственные, гражданские, коммерческие, транспортные и логистические, потребительские роботы	Государственные гранты на сумму свыше 700 млн евро
Южная Корея	Intelligent Robot Industry Development Strategy	2018	Стимуляция спроса на роботов местного производства. Акцент на производственной базе компонентов — датчики, сенсорные устройства, интеллектуальная продукция, а также smart-производства. Увеличение рынка робототехники и автоматизации до \$6,15 млрд к 2022 г.	\$467 млн
Япония	Стратегия Японии в области робототехники. Видение, стратегия, план действий (Japan's Robot Strategy — Vision, Strategy, Action Plan)	2015	Решение острых социальных проблем страны и внедрение роботов на крупные заводы, в различные области экономики и общественной жизни. Основной фокус — помощь пожилым	\$270 млн было выделено в 2016 г.
Китай	«Глобальная государственная программа развития Made in China 2025», «13-й План развития на 2016–2020-е гг.», «Руководство о содействии производству промышленных роботов» и «План развития робототехнической отрасли» (2016–2020)	2016	Формирование полной системы производства промышленной робототехники. Мелкосерийное производство и применение роботов для обслуживания инвалидов, сферы медицинского обслуживания. Создание конкурентоспособных на мировом рынке предприятий и промышленных кластеров. Развитие компонентной базы	Общий объем инвестиций с 2017 по 2020 гг. превысят \$59 млрд

достижения страны в области робототехники как решение демографических и трудовых проблем Японии. Новая стратегия направлена на постепенную роботизацию практически всех отраслей — от сельскохозяйственного оборудования до автомобилестроения, от служб по оказанию помощи при бедствиях до пищевой, косметической, фармацевтической промышленности. Японцы уделяют особое внимание расширению роли сервисных роботов — к 2020 г. около 30% задач в сфере услуг в стране должно выполняться роботами.

Развитие робототехники поставлено в основу реализации стратегии «Сделано в Китае — 2025». Оно должно обеспечить быстрое продвижение и развитие индустрии робототехники. Созданный в рамках национальной стратегии план развития индустрии робототехники в Китае (2016–2020 гг.) поставил задачу увеличить использование роботов в 10 раз к 2025 г. Правительство Китая на национальном и региональном уровнях выделяет огромные суммы для субсидирования внедрения роботов и других технологий автоматизации — около \$350 млрд в рамках национальной стратегии⁴³. Правительства отдельных провинций предоставляют щедрые субсидии компаниям на приобретение роботов — по оценкам BCG, в размере около \$6 млрд⁴⁴. Например, провинция Гуандун, предположительно, инвестирует около \$135 млрд), чтобы помочь

фирмам осуществить «замену машин»⁴⁵. Аналогичным образом правительство провинции Аньхой заявило, что инвестирует около \$86 млрд в промышленную модернизацию местных производителей⁴⁶.

В результате, если рост в Китае и Южной Корее продолжится такими же темпами, как и в 2016 и 2017 гг., то к 2026 г. Китай обгонит Корею как страну с наибольшим количеством промышленных роботов на 10 000 занятых в промышленности.



03

Обзор робохабов и робостартапов

Создание центров развития приоритетных отраслей технологий — идея не новая. Различные «кластеры», «долины», «глены», «перекрестки» и «центры» постоянно появляются в разных странах, которые стараются успеть на уходящий поезд Четвёртой промышленной революции.

Обзор мировых робохабов

Создание центра приоритетного развития робототехники — светлая мысль, которая приходит в голову многим предпринимателям и чиновникам не только в нашей стране.

Подобные кластеры организованы так, чтобы обмениваться опытом, финансированием, лидерскими практиками, чтобы помочь сделать бизнес успешным, продуктивным, прибыльным и привлечь лучших людей из профильных сообществ.

Технологические кластеры помогают стимулировать инновации и стартапы, способствовать «переливу» знаний и талантов от малых к крупным компаниям (и наоборот), а также держать заинтересованных лиц в курсе основных тенденций.

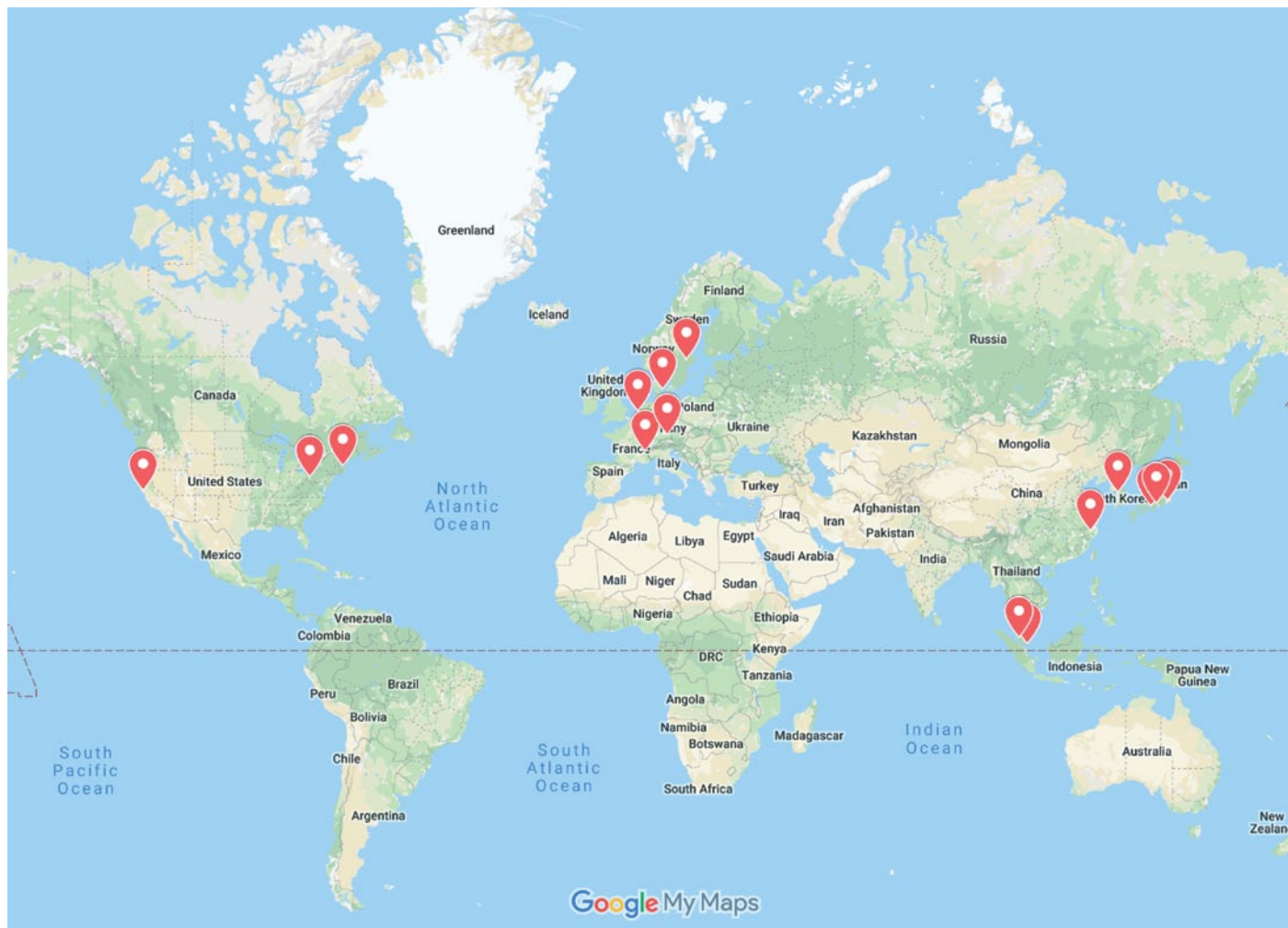
В мире насчитывается несколько кластеров, или хабов, сфокусированных на развитии робототехники и смежных технологий:

- *Silicon Valley ROBOTICS (SVR)*, Калифорния, США;
- *MassRobotics*, Бостон, Массачусетс, США;

- *Pittsburgh Robotics Network*, Питтсбург, Пенсильвания, США;
- *Odense Robotics*, Оденсе, Дания;
- *Robotdalen*, Вестерос, Швеция;
- *COBOTTEAM*, Рона-Альпы, Франция;
- *RoboValley*, Делфт, Нидерланды;
- *Xiaoshan Robot Town*, Ханчжоу, Китай;
- ряд кластеров на базе университетов, например, в Германии, Японии и Корее; на базе отраслевых ассоциаций, например в Сингапуре и Малайзии.

Некоторые из этих робохабов имеют ярко выраженный географический характер (компактное размещение нескольких компаний), а некоторые являются, по сути, лишь виртуальным сообществом людей и команд, которые объединены некоторыми общими признаками. Рассмотрим робохабы, опыт которых показался нам наиболее интересным.

Рисунок 74. Карта робохабов



Источник: Лаборатория робототехники Сбербанка

США

Silicon Valley Robotics

Silicon Valley Robotics (SVR) — крупный робототехнический кластер, некоммерческое объединение робототехнических компаний и стартапов. SVR был запущен в 2010 г. и включал такие робототехнические компании, как *Jabil*, *Fetch Robotics*, научно-исследовательский институт *Toyota*, *SoftBank Robotics*, *Mayfield Robotics*, *E and M Engineering*, *SICK Sensor Intelligence* и *Harmonic Drive*.

Стратегические цели SVR:

- содействовать установлению контактов между руководителями отрасли, потенциальными партнёрами, инвесторами и клиентами;
- поддерживать проведение исследований; участвовать в мероприятиях, которые повышают качество и количество следующего поколения профессионалов робототехники;
- отстаивать политику в области робототехники, способствующую инновациям и предпринимательству;
- определять ведущие компании отрасли и привлекать экспертов.

Членство в SVR теперь открыто для организаций и частных лиц, которые непосредственно занимаются робототехникой и поддерживают цели организации. На текущий момент SVR насчитывает порядка 60 участников в трёх категориях: компании, стартапы и партнёры.

Для поддержки инноваций и коммерциализации робототехнических технологий SVR проводит целый ряд мероприятий, включая *Silicon Valley Robot Block Party*, и форумы для инвесторов.

У организации существует база данных о вакансиях и дополнительные информационные услуги для участников, включая ежегодный глобальный конкурс стартапов по робототехнике и отчёты по аспектам развивающейся индустрии.

The Massachusetts Robotics Cluster (MassRobotics)

Массачусетский робототехнический кластер включает в себя 122 коммерческие компании. В период с 2011 по 2015 гг. в Массачусетсе было создано 33 новых предприятия по робототехнике, что на 57% больше, чем пять лет назад.

- Общий штат робототехнических компаний превышал 4700 человек, а выручка в 2015 г. составила \$1,6 млрд.

Рисунок 75. Дорожная карта Массачусетса по робототехнике



Источник: MassRobotics

- Производство было самой крупной целевой отраслью для продуктов и услуг участников робототехнического кластера, за которыми следовали секторы здравоохранения и складских операций/дистрибуции.

**Ведущие сегменты робототехники
Массачусетского робототехнического кластера:**

- лидирующие позиции в коллаборативной робототехнике;
- примерно 90% мобильной наземной робототехники, поставляемой Вооружённым силам США, были разработаны в кластере;
- ведущий центр по разработке беспилотных подводных аппаратов (*UUV*);
- лидирующие позиции в мире в разработке мобильных роботов для розничной логистики электронной коммерции;
- сильные позиции в секторе потребительской робототехники.

Европа

Odense Robotics

Оденсе, Дания

Один из самых известных в мире робототехнических кластеров, в котором работает более 129 компаний и более 3600 специалистов, занимающихся инновациями в области робототехники и автоматизации. В кластере ожидают, что в 2020 г. эта цифра возрастет до 4900 сотрудников. Здесь находится один из лучших робототехнических инкубаторов в Европе — *Odense Robotics StartUp Hub*. Проводится более 40 образовательных программ. Есть университет, известный во всём мире благодаря исследованиям в области робототехники.

Всё это поддерживается городом Оденсе, который помогает создать высокотехнологичную предпринимательскую среду, где стартапы и таланты воплощают инновации в жизнь. Компании также получают поддержку от специальной группы управления кластером.

Odense Robotics StartUp Hub — это инкубатор для робототехнических стартапов, расположенный в Оденсе в Датском технологическом институте на территории площадью 2000 м². Услуги

предоставляются бесплатно, а стартапы сохраняют за собой все права собственности. Данный хаб — один из немногих европейских инкубаторов, специализирующихся на «аппаратных» стартапах.

Ключевые показатели

- Экспорт около \$580 млн в 2017 г. — 67% от общего оборота компаний в Фунене (*Funen* — остров Дании, где находится хаб).
- 66% компаний, которые пока не занимаются экспортом, ожидают начать это делать в будущем.
- Оборот в Фунене в 2017 г. составил порядка \$860 млн.
- С 2015 г. в кластерные компании было инвестировано около \$840 млн.
- Число сотрудников в кластере, как ожидается, увеличится с 3600 до 4900 в 2020 г.
- 760 сотрудников за рубежом сегодня.
- 129 компаний в кластере сегодня.

Более 30 университетов, 10 исследовательских институтов. Вузы в Оденсе предлагают более 30 соответствующих программ в области ИТ и робототехники. Только Университет Южной Дании (*SDU*) имеет 15 магистерских и инженерных программ в области робототехники

и программных технологий. Эти программы не только привлекают новых специалистов в эту область, но и помогают в создании научно-исследовательских учреждений, поддерживающих индустрию робототехники.

Местный аэропорт имени Ганса Христиана Андерсена является местом расположения *UAS* (национального испытательного центра беспилотников), а Институт Макер-Кинни Моллера (*ММММ*), расположенный в *SDU*, является исследовательским центром интеллектуальных автономных систем.

Датский технологический институт также создал Центр робототехники в Оденсе, который предлагает консультации по разработке продуктов, новые лабораторные и испытательные центры.

Крупнейшие компании в кластере: *Universal Robots*, *Scape Technologies* и *MiR*.

RoboValley

Делфт, Нидерланды

Расположенный в тихом университетском городке, *RoboValley* — кластер, образованный при Техническом университете Делфта. Резидентами кластера являются 170 исследователей в сфере робототехники

и около 40 компаний-партнёров. Основная цель кластера — является ускорение развития индустрии робототехники и помощь стартапам, которые хотят начать свою работу в городе. Кластер также привлекает инвесторов в венчурный фонд *RoboValley Investment Fund*, объём которого заявлен на уровне 100 млн евро.

Услуги, предоставляемые кластером, включают в себя аутсорсинг офисно-административных вопросов, помощь в подготовке и проведении конференций и доступ к лабораториям и мастерским для резидентов.

Robotdalen **Вестерос, Швеция**

Кластер *Robotdalen* был запущен в 2003 г. шведским инновационным агентством VINNOVA и Европейским фондом регионального развития при участии нескольких промышленных предприятий и образовательных учреждений. Основной целью кластера было и есть ускорение регионального развития в регионе Мелардален (Центральная Швеция), для чего была выбрана тематика роботизации и автоматизации. За последние годы позиционирование *Robotdalen* изменилось с регионального акселератора до движущей силы коммерческого успеха многих новых идей робототехники национального

масштаба. На текущий момент в кластере вывели на рынок 28 новых компаний, запустили 45 новых продуктов, заключили два международных соглашения о сотрудничестве и привлекли порядка \$43 млн инвестиций.

Большую долю в разрабатываемой в кластере продукции занимают робототехнические решения для здравоохранения, также присутствуют решения для промышленности, транспорта, безопасности и логистики. Среди разработок компаний-резидентов данного робохаба стоит упомянуть роботизированную мобильную систему *Tek RMD* от компании *Matia Robotics*, которая является альтернативой инвалидному креслу и позволяет пациенту перемещаться в вертикальном положении⁴⁷.

Заслуживает внимания и компания *Giraff* и её одноименный робот телеприсутствия, который позволяет обеспечивать пациентов услугами телемедицины, а также является средством социальных коммуникаций для маломобильных пациентов⁴⁸.

Азия

Xiaoshan Robot Town

Китай



Евгений Косолапов

Представитель Инновационного центра Фонда «Сколково» в Китае

Xiaoshan Robot Town (XRT) — специализированный район в городе, провинция Чжэцзян, посвящённый робототехнике. На текущий момент в Китае работает порядка 40 центров, именующих себя хабами, посвящёнными робототехнике. Однако, по нашему мнению, именно этот хаб выделяется на фоне прочих. Ханчжоу оказался на пересечении нескольких компонентов экосистемы, необходимых для развития робототехники.

- **Промышленная база.** Провинция Чжэцзян (рядом с Шанхаем) — одна из самых богатых и индустриализированных провинций Китая. Производственные предприятия провинции обеспечивают 15% национального спроса на робототехнику.
- **Наука и образование.** Чжэцзянский университет входит в С9 (китайский аналог

«Лиги плюща», девять лучших университетов страны), а также Чжэцзянский университет науки и техники предоставляют базу талантов для промышленности и содержат лаборатории для прототипирования роботов.

- **Активное сообщество.** Чжэцзянская ассоциация индустрии роботов (ZRIA) насчитывает более 200 членов, как компаний, так и академических групп.
- **Международная вовлечённость.** Город проводит ежегодную конференцию *West Lake International Robot Forum (WIRF)*, на которую съезжаются робототехники всего мира.
- **Поддержка правительства.** На уровне провинции Чжэцзян, на уровне города Ханчжоу и на уровне района Сяошань есть специальные, посвящённые именно робототехнике, преференции и стимулирующие инвестиции государственные программы.

В результате в районе Сяошань было выделено 3,9 кв. км под застройку офисными зданиями, лабораториями, жильём и выставочным комплексом исключительно для робототехнических компаний. В 2017 г. комплекс был сдан и начал функционировать. Порядка 30 компаний, таких как *ABB, Siemens,*

76. Футуристичный выставочный центр робототехники стал визитной карточкой города и, возможно, всего робототехнического Китая



Источник http://yongdian.251.zjza.com/en/anli_del/id-157.html

Siasun, Kaiierda, CITIC, начали его осваивать. Корейский институт продвижения индустрии роботов (*KIRIA*) выбрал Сяошань базой для представления корейских разработок для китайского рынка. Для поддержки компаний, создающих роботов, был создан фонд в размере

5 млрд юаней (50 млрд рублей). Стартапам-резидентам предоставляются офисные площади и поддержка в коммерциализации разработок. Иностранному стартапу также может получить грант до 8 млн юаней (80 млн рублей) за «приземление» в XRT.

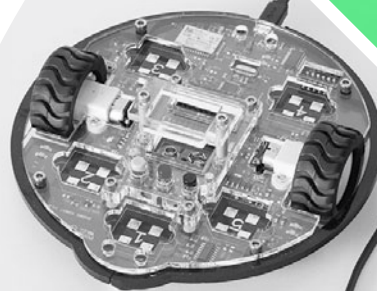
Дисклеймер

В ходе подготовки этого отчёта сотрудники Лаборатории робототехники Сбербанка получили большой массив данных о рынке робототехники, в том числе о компаниях, технологиях, и бизнес-моделях.

В результате первичной систематизации этих данных, подкрепленной собственной экспертизой сотрудников лаборатории, получился предварительный список десяти перспективных стартапов в области робототехники с кратким описанием технологии и бизнес-модели.

Важно отметить, что при составлении этого списка использовалась информация преимущественно из открытых источников и из аналитических отчетов компаний* и **не проводился полноценный Due Diligence.**

* IFR, Tractica, ABI Research, IDC.



83.
**Гексакоптер
Flirtey**

Источник:
<https://www.vox.com>

82. Робот РОББО
Робоплатформа

Источник: <http://robbo.ru>

81. Робот-курьер **Nuro R1**

Источник: <https://www.wired.com>



80. Беспилотный
океанический
надводный
аппарат
Saildrone

Источник:
<https://www.bloomberg.com>



77. Мобильный
робот
Walker

Источник:
<https://ubtrobot.com>

78. Робот **Navii**

Источник:
<https://www.fellowrobots.com>



79. Коллаборативный
мобильный робот **MiR**

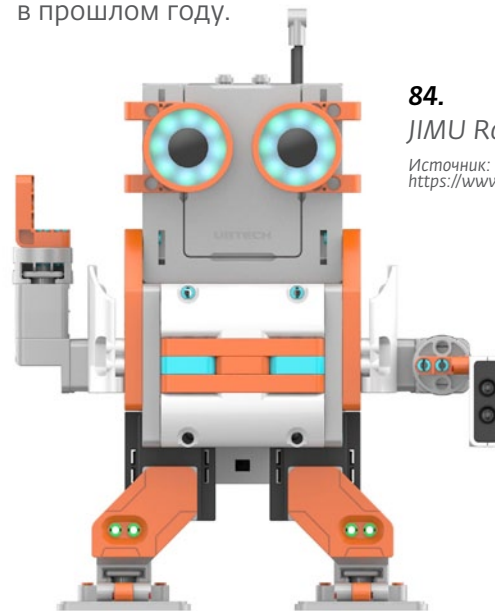
Источник: <https://www.rg-robotics.com>

Обзор компаний в сервисной робототехнике

В этом издании нашего отчёта мы выбрали несколько компаний, которые коммерциализируют свои технологии и продукты в разных областях рынка сервисной робототехники: начиная от участников бурно растущего сегмента логистической робототехники и до стартапов весьма узкой специализации, оказывающих услуги для аэрокосмической промышленности или в открытом океане.

За разработками этих молодых компаний, а за редким исключением все они моложе 10 лет, пристально следят представители крупного бизнеса, подтверждая свои интерес

к инвестициям. Со своей стороны, мы также наблюдаем за развитием как самих компаний, так и направлений разработок. В данный обзор включен раздел с описанием результатов, достигнутых компаниями, о которых мы писали в прошлом году.



84.
JIMU Robot

Источник:
<https://www.virtualmarket.ifa-berlin.com>

Источник: <https://www.chinamoneynetwork.com>

Ubtech Robotics

Китай, год основания — 2008-й,
штаб-квартира — Шеньчжэнь

Основатель и CEO — James Zhou

Китайская компания заявляет своей целью создание и производство сервисных роботов, которые будут доступны каждому домохозяйству. Производимая линейка коммерческих роботов включает в себя игрушечных роботов, роботов-аватаров, наборы образовательной робототехники и домашних сервисных роботов.

Наиболее примечательным продуктом компании является гуманоидный робот *Walker*, оснащённый широкой гаммой сенсоров и способный передвигаться по сложным поверхностям, таким как лестницы. Его функции также включают машинное зрение с распознаванием лиц и объектов и возможности интеграции с устройствами системы «умный дом». Основной же продукт *Ubtech Robotics* — это комплекты образовательной робототехники. Для образовательных целей и управления роботами



85. Мобильный робот Walker и AstroBot

компания предлагает мобильные приложения. За время своей деятельности компания выросла до стартапа-«единорога» с рыночной оценкой примерно в \$5 млрд. В отчётный период *Ubtech Robotics* получила финансирование на \$820 млн от *Tencent Holdings* и *iFlyTek*. Ряд продуктов доступны для покупки напрямую с сайта компании или через крупных ритейлеров (например, *Target* и *Apple Store*). По последним открытым данным, выручка компании составила порядка \$150 млн. Однако, по нашим сведениям, в 2018 г. выручка превысила \$200 млн. Интересно, что 60% выручки компании — образовательные комплекты для китайских школ.

По нашему мнению, *Ubtech Robotics* заслуживает самого пристального внимания, так как деятельность компании помогает популяризации робототехники и направлена на самого главного потребителя — массового.

Источник: <https://ubtrobot.com>

Источник: <https://www.bloomberg.com>

Saildrone

США, год основания — 2012-й,
штаб-квартира — Аламеда, Калифорния

Сооснователь и CEO — **Richard Jenkins**

Калифорнийская компания разрабатывает и производит беспилотные океанические надводные аппараты, использующие для перемещения энергию ветра. Такие аппараты предназначены для долговременных миссий продолжительностью до 12 месяцев и протяжённостью в десятки тысяч морских миль; по сбору и передаче информации различного характера: метеорологические исследования, мониторинг рыбных ресурсов, контроль перемещений морских животных, обнаружение нелегального судоходства и экологические наблюдения. Автономность аппаратов, помимо ветра, обеспечивается встроенными в «паруса» солнечными батареями. Аппараты поставляются со стандартным набором сенсоров, который может быть расширен дополнительными устройствами — в зависимости от целей миссии. Траектория движения может задаваться оператором

86. Беспилотный океанический надводный аппарат Saildrone

по спутниковой связи либо закладываться в программу для автономного перемещения. Компания получила к настоящему моменту порядка \$88 млн инвестиций. По открытым данным, годовая выручка компании составляет порядка \$5 млн. Компания предоставляет свои аппараты потребителям по схеме «миссия как услуга» (*Mission-As-A-Service*). Основными заказчиками компании являются научные организации и государственные ведомства, например Национальное управление океанических и атмосферных исследований США. Сама идея использовать беспилотники для миссий по сбору информации уже далеко не нова, но, по нашему мнению, *Saildrone* является одним из хороших примеров инновационной компании, нашедшей возможность использовать тысячелетнюю технологию (парус) для актуальных исследовательских задач.

<https://www.saildrone.com/award>

Источник: <https://www.masstlc.org/>

Soft Robotics Inc.

США, год основания — 2013-й,
штаб-квартира — Бедфорд, Массачусетс

CEO — *Carl Vause*

Компания является производителем робоманипуляторов с «ловкостью и координацией, близкой к человеческой руке». Основной продукт компании — пневматический манипулятор мягкого типа *MGRIP*, способный захватывать и перемещать широкую номенклатуру объектов — пищевые продукты, упаковки лекарств и прочие хрупкие предметы. По заявлению производителя, основными областями использования их манипуляторов являются умная упаковка и автоматизация обработки заказов.

Основные индустрии, где применяются манипуляторы *MGRIP*, — пищевая промышленность, электронная торговля, упаковочное производство, розничная торговля и высокотехнологичные производственные процессы. *MGRIP* является универсальным



Источник: <https://www.wired.com>

87. Soft Robotics mGrip

манипулятором и может устанавливаться на промышленных роботов сторонних производителей, например *Universal Robots* и *Fanuc*.

Компания была основана в 2013 г., получив к настоящему моменту около \$45 млн инвестиций. Основные инвестиции пришлись на 2018 г., более \$40 млн поступило от таких инвесторов, как *Yamaha* и *Hyperplane Venture Capital*. По имеющимся данным, годовая выручка *Soft Robotics* составляет \$3,4 млн. Среди потребителей продукции компании — *Micron Products* и *Global Retail Pizza Company*. Продукция поставляется через сеть авторизованных дистрибьюторов.



RightHand Robotics

США, год основания — 2014-й,
штаб-квартира — Сомервиль, Вашингтон

Источник: <https://www.roboticssummit.com>

Сооснователь и CEO — Leif Jentoft

Ещё одна компания-разработчик из Массачусетса, которая специализируется на робоманипуляторах. Оригинальный продукт *RightHand Robotics* — это манипулятор комбинированного типа *RightPick2*, система, состоящая из трёхпалого захвата и центральной пневматической присоски. Такое решение, по словам производителя, позволяет обеспечить универсальность, то есть манипулятор способен захватывать предметы разнообразной формы. Основной областью применения *RightPick2* являются внутренние логистические операции, где основная задача — это сортировка различных предметов для формирования заказов.

Компания получила на текущий момент примерно \$34 млн инвестиций, список инвесторов включает *Menlo Ventures*, *Google Ventures*, *Matrix Partners*,



Источник: <https://robotsguide.com>

88. *RightPick2* установлен на манипулятор *Universal Robots*

Playground Global и прочих. Открытые источники оценивают годовую выручку компании примерно в \$2,5 млн. В начале текущего года *RightHand Robotics* заключила соглашение о партнёрстве с *Paltac Corporation*, крупнейшим в Японии оптовым продавцом пакетированных потребительских товаров.

RightHand Robotics примечательна тем, что успешно объединила две конкурирующие технологии захвата предметов в одну рабочую конструкцию.

Источник: <https://3dprintingindustry.com>



Источник: <https://www.finance.time.org>

Arevo Labs

США, год основания — 2013-й, штаб-квартира — Кремниевая Долина, Калифорния

Сооснователи — Wiener Mondesir и Hemant Bheda

Это пример стартапа, скорее использующего роботов, чем создающего своих роботов: *Arevo Labs* производит 3D-принтеры нового типа, основанные на использовании промышленных роботов-манипуляторов. «Классические» 3D-принтеры осуществляют послойную печать полимерами, некоторые из них имеют наполнение углеволокном. Следующей ступенью развития технологии стало появление принтеров, в зону печати которых вводится непрерывная углеволоконная нить. Фундаментальным отличием продукта компании являются отход от классической послойной полимерной печати и использование непрерывного «препрега»*, связующее которого полимеризуется под действием высокой температуры в точке печати.

Также применение многоосевой роборуки обеспечивает полностью трёхмерный процесс нанесения композитных материалов. За счёт этого, по заявлениям производителя, достигаются

89. Принтер Arevo Labs печатает велосипедную раму

экономия материалов и ускорение процесса создания конечного продукта.

Решение компании также включает в себя программное обеспечение для разработки моделей и управления жизненным циклом продукции. Компания была основана в 2013 г. и получила от инвесторов порядка \$20 млн в двух траншах — от *Khosla Ventures*, *Asahi Glass Co Ltd*, *Sumitomo* и *Leslie Ventures*. Годовая выручка компании составляет оценочно около \$6 млн США. Предполагается, что среди потребителей решений компании находятся OEM-производители для авиакосмической промышленности, оборонных компаний, транспорта, электроники и потребительских товаров. По имеющимся данным, 3D-принтер *Arevo Labs* является первым работающим устройством, способным вводить препрег в зону печати непрерывно и по трем осям; вполне возможно, что широкое внедрение разрабатываемой технологии поменяет правила игры на рынке аддитивного производства.

* В данном случае – углеволоконная лента, предварительно пропитанная термореактивными неотвержденными полимерными связующими

Источник: <https://www.liveinternet.ru>



Starship Technologies

США, год основания — 2014-й,
штаб-квартира — Сан-Франциско, Калифорния

Сооснователи — Allan Martinson и Ahti Heinla

Компания со штаб-квартирой в Калифорнии оказывает услуги по местной доставке на основе логистических роботизированных платформ собственной разработки. Основным продуктом компании является шестиколёсный робот-курьер для доставки продуктов питания и небольших посылок, например офисных принадлежностей. Радиус действия электрического курьера составляет 6 км. На данный момент флот роботов *Starship* осуществляет доставку от двери до двери, но не функционирует внутри зданий. Для организации доставки компания также выпустила мобильное приложение, позволяющее осуществлять заказы и отслеживать статус доставки и положение роботов.

Компания создана основателями *Skype* в 2014 г. и на текущий момент получила более \$40 млн инвестиций. Годовая выручка компании



Источник: <https://www.liveinternet.ru>

90. Робот-курьер доставляет заказ

оценивается в \$12 млн. Учитывая заявленный радиус действия, компания концентрируется на доставке внутри корпоративных и академических кампусов, например в Вашингтоне и Лондоне.

Бизнес-модель компании заключается в выстраивании партнёрской экосистемы, которая включает в себя местные магазины и рестораны в качестве поставщиков доставляемой продукции и саму компанию в качестве логистического оператора.

По нашему мнению, выбранная компанией операционная модель на текущий момент является одной из наиболее оптимальных: компания сама эксплуатирует собственный парк роботов. При этом ниша для организации логистики на ограниченных территориях будет существовать до тех пор, пока существуют такие территории.

Источник: <https://www.psfk.com>



Nuro.ai

США, год основания — 2016-й,
штаб-квартира — Маунтин-Вью, Калифорния

Сооснователи — Dave Ferguson и Jiajun Zhu

Nuro, прямой конкурент *Starship Technologies*, также является производителем и оператором логистических роботизированных платформ для местной доставки. Основным продуктом компании является автономный робот-курьер R1, способный перемещаться со скоростью до 40 км/ч. R1 крупнее робота-курьера *Starship* и может использовать автомобильные дороги общего назначения.

Компания на данный момент получила финансирование более \$1 млрд, что вывело её в статус «единорогов». Основным инвестором выступает *SoftBank Group Corp*. По текущим оценкам, годовая выручка компании составляет порядка \$3 млн. Бизнес-модель компании также подразумевает выстраивание партнёрской экосистемы, но в отличие от *Starship* в качестве поставщиков доставляемой продукции *Nuro*



Источник: <https://www.wired.com>

91. Робот-курьер Nuro R1

запускает проекты с крупными сетевыми ретейлерами. На данный момент у компании заключено соглашение с розничной сетью *Kroger*, которая заменила свой логистический флот автономных гибридных автомобилей на R1. Также *Nuro* запускает пилотный проект для *Frysfood*. Сейчас компания осуществляет логистические операции в Аризоне, Калифорнии и Техасе.

Рынок роботизированной логистики пока находится на стадии становления, и мы внимательно наблюдаем за развитием конкурирующих проектов, к которым и относится операционная модель *Nuro.ai*, подразумевающая использование общественной дорожной системы.

Источник: <https://www.businessinsider.com.au>



Flirtey

США, год основания — 2013-й,
штаб-квартира — Маунтин-Вью, Калифорния

Сооснователи — Tom Bass и Matt Sweeney

Компания — производитель беспилотных летательных аппаратов, основным назначением которых является воздушная доставка грузов. При этом *Flirtey* позиционирует себя как службу доставки прежде всего медикаментов и медицинского оборудования. Основной продукт компании — сертифицированный Федеральным авиационным агентством США гексакоптер, способный выполнять доставку как в управляемом, так и в автономном режиме.

К настоящему моменту *Flirtey* получила более \$16 млн инвестиций. По текущим оценкам, годовая выручка компании находится в пределах \$4 млн. Учитывая заявленную специализацию, *Flirtey* работает в партнёрстве с государственными ведомствами, медицинскими учреждениями и научными организациями. Хотя сама



Источник: <https://www.vox.com>

92. Гексакоптер Flirtey

она не ограничивает себя исключительно медицинским направлением и заключила партнёрства с такими компаниями, как *Domino's Pizza* и *7-Eleven*. Компания осуществляет воздушную доставку в США, Австралии и Новой Зеландии.

Оперативная доставка медикаментов при помощи БПЛА представляется крайне перспективным направлением логистики, и опыт реализации таких проектов в странах, обладающих значительными территориями, крайне ценен для России.



Ekso Bionics

США, год основания — 2005-й,
штаб-квартира в Ричмонде, Калифорния

CEO — Jack Peurach

Компания разрабатывает и производит пассивные бионические экзоскелеты для двух направлений использования — активный экзоскелет *EksoGT* для реабилитационной медицины, монтируемый на рабочие платформы; пассивный манипулятор *Ekso Works* и промышленный пассивный экзоскелет *Ekso Vest* для работы на производстве.

Ekso Bionics продемонстрировала масштабный рост поставок (в 1,5 раза) в 2018 г., а именно продала более 90 экзоскелетов, что оценочно показывает прирост выручки на 52%. Также, *EKSO* расширила свою продуктовую линейку и, в добавление к уже выпускаемому медицинскому реабилитационному экзоскелету *EksoGT*, компания вывела из стадии прототипа промышленный экзоскелет *ExoVest*.

После удачного завершения пилотного проекта по применению экзоскелетов *Ekso Bionics* на двух



93. EksoGT

заводах *Ford Motors* было принято решение о закупке еще 75 экземпляров *ExoVest* для внедрения в производственные процессы на 15 своих заводах в Северной и Южной Америке, Европе и Юго-Восточной Азии. Это крупнейшее на текущий момент внедрение промышленных экзоскелетов в мире.

С момента основания компания смогла привлечь более \$103 млн инвестиций. По последним данным, в январе 2019 г. *Ekso Bionics* образовала совместное предприятие с целью выхода на рынок Юго-Восточной Азии (на данном этапе — Китай, Гонконг, Сингапур и Малайзия).

По нашему мнению, положительный опыт применения реабилитационных и промышленных экзоскелетов *Ekso Bionics* является крайне важным как с точки зрения применяемых инженерных решений, так и со стороны организации процессов внедрения и адаптации таких решений.

Источник: <https://www.businessinsider.com.au>

Fetch Robotics

США, год основания 2014,
штаб-квартира — Сан-Хосе

СЕО — Мелони Вайз

Американский стартап разрабатывает и производит логистические робототехнические системы для работы в закрытых помещениях. За время существования компания меняла бизнес-модель. Сначала в качестве основных продуктов *Fetch Robotics* предлагала мобильный манипулятор и автономную мобильную тележку. Затем компания отказалась от манипулятора и расширила ассортимент мобильных роботов: автономные грузовые тележки для перевозки легких, средних, крупногабаритных и тяжелых грузов, мобильные стеллажи, роботы для инвентаризации.

Производимая *Fetch Robotics* линейка автономных мобильных роботов включает в себя две логистические платформы грузоподъемностью 500 и 1500 килограммов. Сейчас компания

94. Робот Fetch

сосредоточилась на разработке дополнительных модулей, расширяющих функциональность существующих роботов, — мобильной базы для установки дополнительного оборудования, например разъемов для перемещения стеллажей, транспортных корзин.

Также *Fetch Robotics* поставляет робототехнические платформы для исследовательских проектов, и уже более 50 лабораторий разрабатывают на базе *Fetch*. И такие разработки работают на создание лояльного сообщества квалифицированных специалистов. Для управления флотом логистических роботов компания предлагает фирменное облачное программное решение *Fetch Core*, которое позволяет программировать роботов сотрудникам, не обладающим

Источник: <https://fetchrobotics.com>



Источник: <https://fetchrobotics.com>

навыками программирования (обучение роботов повторением), и легко встраивается в систему управления складом (*WMS*).

Интеллектуальная собственность *Fetch Robotics* включает в себя 10 зарегистрированных патентов, большая часть которых относится к категории *Hand Tools; Portable Power-Driven Tools; Manipulators*.

За время своей деятельности *Fetch Robotics* смогла привлечь \$48 млн в трех раундах от таких компаний, как *OATV, SoftBankCapital* и *SwayVentures*. Среди крупных клиентов компании можно назвать глобальную логистическую компанию *DHL, Wärtsilä Parts Delivery division* (тяжелое машиностроение) и коммерческого логистического оператора *Ryder System*.

Клиентами *Fetch Robotics* являются сторонние поставщики логистических услуг (*3PL*), компании розничной торговли и промышленности. Сегодня у *Fetch Robotics* несколько клиентов в Японии, а также крупный клиент в Европе — *DHL*.

По нашему мнению, *Fetch Robotics* является компанией, добившейся впечатляющих результатов в разработке логистических роботизированных решений, отдельно стоит отметить их гибкое решение роботизированного конвейера.

Изменения в компаниях, рассмотренных в предыдущем обзоре



Greyorange

(Сингапур)

Источник: <https://www.transitic.com>

95. Робот Butler

В предыдущем обзоре мирового рынка мы рассматривали ряд перспективных стартапов в области сервисной робототехники. В число компаний вошли производители логистических систем, коллаборативных роботов, экзоскелетов, роботов для образования и развлечения и БПЛА. В следующем разделе нашего отчета мы расскажем, что произошло с этими компаниями за прошедший год, каковы их успехи в развитии своих продуктовых линеек, как продвигается их территориальная экспансия, насколько они интересны потребителям и инвесторам. Забегая немного вперед, отметим, что не всем компаниям удалось добиться успеха, а новости о некоторых из них вы найдёте в разделе «Потерпевшие неудачу».

GreyOrange Pte Ltd — международная технологическая компания, разрабатывающая современные робототехнические системы для складов и распределительных центров.

Основными достижениями предыдущего года для компании стали открытие американской штаб-квартиры и производственного центра в Атланте вместе с запуском масштабного R&D центра в Бостоне⁴⁹.



Источник:
<https://www.greyorange.com>



Источник: <https://www.greyorange.com>

Сразу за этим компания анонсировала привлечение \$140 млн инвестиций в третьем раунде финансирования. Данные вложения будут использованы на расширение деятельности в Азии, Европе и США, тем более что в США у компании уже есть первый клиент, который планирует внедрить 740 складских роботов у себя на объекте⁵⁰. В марте 2018 г. на Международной выставке решений для логистики и управления процессами *LogiMat 2018* компания объявила о бета-запуске автономного манипулятора для складских помещений компаний электронной торговли *Butler PickPal*⁵¹.

Данный манипулятор полностью совместим с продуктом *GreyOrange Butler Goods-to-Person System* и предназначен для того, чтобы собирать,

обрабатывать, объединять и готовить заказы на складах.

Также *GreyOrange* и *GROUND* объявили о развертывании робототехнической системы *Butler* в логистическом центре *Ichikawa* компании *Daiwa House Industry Co. Ltd* в Токио. Система работает на объекте площадью 7000 м², предлагая комплексные логистические решения, которые используются совместно несколькими транспортными компаниями. На этом объекте, названном «Интеллектуальный логистический центр», инновационное решение *Butler Goods-to-Person* автоматизирует перемещение материалов, обеспечивая центру более высокую пропускную способность и производительность. Оценочный годовой доход компании за период составил \$5 млн.⁵²

Mobile Industrial Robots (MiR) (Дания)



<https://www.ig-robotics.com>

96. Коллаборативный мобильный робот MiR

MiR — один из ведущих международных производителей коллаборативных мобильных роботов; резидент робохаба — Оденсе, Дания, региональные офисы в Сан-Диего, Нью-Йорке, Шанхае, Сингапуре и Барселоне.

В планах производителя на 2018 г. было заявлено утроение продаж — с \$12 до \$32 млн⁵³. Согласно другим источникам, прирост по продажам у компании составил 60% за 2018 г., что практически идентично данному показателю за предыдущий период.

Новыми значимыми заказчиками для *Mobile Industrial Robots* стали *Faurecia Group* — один из мировых лидеров в области автомобильных компонентов и технологий — и австралийское подразделение *Konica Minolta*, компании,

занимающейся изготовлением продукции для обработки изображений и систем промышленной цифровой печати.

К концу 2018 г. производителем отмечается возросший интерес заказчиков из США к новой модели логистического робота *MiR500*. По оценкам компании, это является стимулирующей предпосылкой к увеличению объемов производства данного типа роботов в два раза.

Кроме того, для адекватного реагирования на возросший спрос компания заключила соглашения с шестью дистрибьютерами в Северной и Южной Америке, выйдя не только на рынок США, но также Мексики и Аргентины. Таким образом, общее количество дистрибьютеров моделей *MiR* достигло 143 представителей в 40 странах.

SKYF (Россия)



Источник: <https://skyf.pro>

97. Авиагрузовая платформа SKYF

SKYF — казанский производитель универсальной беспилотной платформы вертикального взлета и посадки с большой грузоподъемностью (до 250 кг).

За прошедший год компания сделала несколько заявлений о технологическом и операционном развитии. Было анонсировано начало мелкосерийного производства грузовых платформ на специально расширенных мощностях компании *ARDN Technology* и заключено несколько партнёрских соглашений с компаниями из Вьетнама, Индии, Китая, Турции и Ганы.

Производитель успешно провёл испытания второй версии своего грузового беспилотного летательного аппарата, который стал легче примерно в два раза, с увеличением подъёмной силы на 60%*.

В рамках *International Consumer Electronics Show CES 2018* грузовая платформа производства SKYF была продемонстрирована международной аудитории выставки и результатом её стали договорённость о взаимодействии с площадкой для тестирования беспилотных летательных аппаратов в штате Невада и предварительные договорённости с (FAA) Федеральным управлением гражданской авиации США о регистрации аппарата и содействии в дальнейшем развитии проекта.

Также компания запустила собственную блокчейн-платформу *SKYFchain* и провела ICO на \$5 млн — на текущий момент проект поддержало почти 8000 инвесторов из 56 стран. Прототип блокчейн-платформы *SKYFchain* был запущен, дополнен возможностью заключать смарт-контракты, и впоследствии было достигнуто соглашение об объединении с платформой *CargoCoin*.

* В тестовых полетах перемещался груз до 100 кг

Источник: <https://tass.ru/nauka/6090110>

«ЭкзоАтлет» (Россия)



Источник: Лаборатория робототехники Сбербанка

98. Exoatlet Bambini

ЭкзоАтлет — российская компания-разработчик медицинского экзоскелета для реабилитации и социальной адаптации людей с нижней параплегией (нарушениями локомоторных функций нижних конечностей).

Одним из ключевых достижений 2018 г. явилось прохождение экзоскелетом компании сертификации в Южной Корее и Казахстане.

Также в России выросло количество медицинских центров, применяющих экзоскелеты производителя. В начале года компания успешно завершила тестирование текущей версии экзоскелета *Exoatlet Bambini* для реабилитации детей и подростков с нарушениями опорно-двигательного аппарата. В проекте сочетаются решения робототехники, медицинских и нейротехнологий. Проект *Exoatlet*

99. Промышленный экзоскелет ExoBelt

Bambini осуществлялся при поддержке Национальной технологической инициативы (группа «Нейронет»).

Компания ЭкзоАтлет получила финансирование из федерального бюджета РФ в размере 116,8 млн рублей. Завершение испытаний запланировано на 2020 г., начало продаж ожидается в 2021 г.

В 2018 г. под брендом «*ExoAtlant*» компания начала разрабатывать, а в 2019 г. представила прототип пассивного промышленного экзоскелета *ExoBelt*⁵⁴ для людей, в работе которых активно задействованы мышцы спины. Экзоскелет весит всего 3 кг (это сравнимо с ближайшим конкурентом — *BackX* от компании *SuitX*⁵⁵), по словам разработчиков, может снизить нагрузку на позвоночник и мышцы до 40%. Помимо снижения нагрузки снижаются утомляемость и травматизм.

«КиберТех»

(Россия)



Источник: <https://pp.userapi.com>

100. Робот из конструктора ТРИК на финале Олимпиады НТИ

КиберТех — российский разработчик-производитель кибернетического конструктор для образования и творчества ТРИК.

Более пятисот учебных заведений, школ, университетов и Центров молодёжного инновационного творчества уже применяют наборы компании в процессе обучения⁵⁶.

Также в начале 2018 г. кибернетические конструкторы ТРИК были использованы во время финала Всероссийской инженерной Олимпиады Национальной технологической инициативы, прошедшего на площадке образовательного центра «Сириус», созданного по инициативе Президента Российской Федерации. «КиберТех» является техническим партнёром и организатором данной олимпиады с 2015 г.

В конце 2018 г. был запущен «Справочный центр ТРИК» — большая база методических материалов, ответов на часто задаваемые вопросы, а также архив руководств по работе с продуктами линейки ТРИК (от контроллеров до программного обеспечения). На протяжении года компанией активно проводились мастер-классы и курсы для преподавателей робототехники по методике преподавания на кибернетической платформе ТРИК.

Сотрудники «КиберТех» приняли активное участие в форумах и выставках, таких как Московский международный форум «Город образования», Международный фестиваль робототехники «РобоФинист» и другие.

Rozum Robotics

(Белоруссия)



Источник: <https://bel.biz/trends/rozum-robotics/>

101. Коллаборативный манипулятор Rozum robotics и CEO — Виктор Хаменок

Rozum Robotics — международная компания-производитель коллаборативных роботов, сервомоторов и бескорпусных двигателей. На текущий момент имеет два функционирующих офиса:

- ООО «Розум Роботикс» в Минске, Белоруссия;
- Rozum Robotics Inc. в Калифорнии, США.

В первом квартале 2018 г. компанией были начаты поставки коллаборативного робота первым заказчикам из Белоруссии, Украины, Литвы, России и Кореи⁵⁷.

Компания активно участвует во множественных выставках и конференциях в течение года: Международной робототехнической конференции «Робосектор-2018», Skolkovo Robotics, TIBO, Hardware Congress

(Белоруссия), Международном экономическом форуме в Санкт-Петербурге. Кроме того, по приглашению компании Abagy Robotics и Национальной ассоциации участников рынка робототехники представили своего коллаборативного робота на *Industrial Robotics Workshop*.

В середине года было заключено сотрудничество с калифорнийской компанией *Future Robotix*, занимающейся поставкой высокоточных приводов и иных компонентов, что сделало данную компанию авторизованным дилером всей линейки продукции *Rozum Robotics* на американском рынке⁵⁸.

Также были подписаны дистрибьютерские соглашения о поставках с компаниями из Швейцарии, Германии, России и Южной Кореи.



Источник: <https://rozum.com/ru/robotic-arm/>

В течение года компания активно развивалась.

- Была разработана дополнительная модель робота — *Pulse 90* — с увеличенной грузоподъёмностью и радиусом действия.
- Увеличен штат компании — сейчас он превысил 40 человек.
- Открыто собственное производство и закуплено всё необходимое для производства оборудования.
- Расширена география поставок двигателей — на текущий момент ареал поставок включает в себя РФ, Республику Беларусь, Германию, США, Великобританию, Испанию, Бельгию, Корею и Украину.
- Продукция компании прошла сертификацию ТР ТС 020/2011 и ГОСТ, а также проходит испытания для получения сертификатов соответствия директивам ЕС: *EMC, LVD, MD*.
- Совместно с Украинской национальной сетью кофеен «Франс.уа» был разработан роботизированный комплекс — робот-бариста — в рамках проекта *R/CAFE*⁵⁹.
- Был разработан новый сверхкомпактный мотор для человекоподобных роботов.
- Начато партнёрство с *Visual Components*, разработчиком решения для 3D-моделирования и визуализации производства, позволяющее программировать и проектировать робота удалённо через специализированное программное обеспечение.

Simbe Robotics (США)



Источник: www.simberobotics.com/

102. Робот Tally

Simbe Robotics — американский производитель сервисного робота *Tally*, разработанного для управления динамикой запасов, аудита и аналитики содержимого стеллажей для ретейла.⁶⁰

Ключевым достижением прошлого года для компании стала интеграция в *Tally* технологий *RFID* и машинного обучения⁶¹, которые позволяют ему собирать в магазине данные обо всех товарах с *RFID*-метками. Робот способен захватывать более 700 *RFID*-меток продуктов в секунду с точностью более 99%. Это позволяет розничным продавцам в режиме реального времени иметь представление о наличии и размещении продукта и освобождает сотрудников от задач сканирования меток вручную.

В течение года было заключено четыре стратегических партнерства. Первым стало глобальное партнерство с *SoftBank Robotics*

America (SBRA), в рамках которого *Simbe Robotics* будет использовать международный охват *SBR* и операционную эффективность для расширения своего бизнеса на мировом рынке — в планах масштабное развертывание *Tally* в Японии, Северной Америке и Европе. Дополнительно обе компании изучают возможность интеграции своих роботизированных систем *Tally* и *Pepper*, чтобы они могли обмениваться информацией и совместно выполнять некоторые операции — *Tally* информирует *Pepper*, что товара нет в наличии, а *Pepper* передает эту информацию соответствующим клиентам.

Затем была запущена пилотная программа с подразделением цифровых технологий *Advantage Solutions*⁶² по сканированию полок ретейлеров и сбору данных (зона ответственности *Simbe*) и анализу полученной информации с целью



Источник: <https://twitter.com:simberobotics>.jpg

Источник: <https://www.terry.uga.edu.jpg>

103. Робот Tally и робот Pepper

формирования полной картины данных для принятия решений и построения выводов (зона ответственности *Advantage Solutions*).

Третьим партнерством стал договор с *Schnuck Markets Inc.* о внедрении роботов *Tally* на еще 15 площадках сети⁶³ — в дополнение к уже функционирующим в трех магазинах системам, которые были запущены в рамках заключенного в 2017 г. пилотного проекта по применению *Tally* в *Schnuck*.

Также в декабре 2018 г. было анонсировано партнерство между *Simbe Robotics* и *Decathlon USA*⁶⁴ о запуске пилотного проекта по внедрению *Tally* в процессы инвентаризации во флагманском магазине бренда в Сан-Франциско. Благодаря этому оценочный годовой доход компании составил \$1,5 млн⁶⁵.



Fellow Robots (США)



Источник: <https://www.fellowrobots.com/navii-2/>

104. Робот Navii

Fellow Robots — частная корпорация из штата Делавэр со штаб-квартирой в Берлингеме, Калифорния, которая предлагает решения для сканирования товарно-материальных запасов, инвентаризации, проверки соответствия расположения продукции планограммам и анализа совокупности данных для предприятий розничной торговли и транспортного сектора.

В первом квартале 2018 г. *Fellow Inc.* анонсировали партнёрство с *Canon USA* и совместное участие в *International Consumer Electronics Show CES 2018* для демонстрации интеграции технологии обработки изображений *Fellow* и передовой фотоматрицы *Canon* с целью применения системы при сканировании и инвентаризации товарно-материальных запасов предприятий розничной торговли⁶⁶. Позже было анонсировано совместное

участие с *Microsoft Corporation* в *National Retail Federation Annual Convention & Expo 2018* по тематике «AI в ретейле», а также базирование программного решения *Fellow* на *Microsoft Azure* и *Microsoft Power BI* для обеспечения ретейлеров полным представлением о состоянии их офлайн-магазинов и наиболее полной интеграции в их основные IT-системы⁶⁷.

В рамках сотрудничества с *Nvidia Corporation*, *Fellow Inc.* продолжает применение компьютеров *Nvidia Jetson*, а также анонсировала совместное участие в *International Consumer Electronics Show CES 2019* по тематике оптимизации цепочки поставок и процесса инвентаризации товарно-материальных запасов⁶⁸.

Оценочный годовой доход компании за период составил \$3,8 млн⁶⁹.

РОББО

(Россия)



Источник: <http://robbo.ru/products/robbo-set/>

105. Робот РОББО. Робоплатформа

РОББО — российский разработчик робоплатформы для комплексного обучения программированию и постройке роботов, резидент технопарка «Сколково». Компания активно участвует в образовательных мероприятиях и выставках.

На текущий момент продукты *ROBBO* поставляются в 12 стран: Россию, Финляндию, Таиланд, Великобританию, США, Испанию, Вьетнам, Китай, Казахстан, Белоруссию, Украину, Таджикистан. С их помощью обучается более 50 000 учеников в школах и кружках робототехники. Также компания заявляет о продаже более 90 франшиз «РОББО Клуб».

Со своим продуктом компания стала победителем ряда конкурсов:

- «Экспортёр года» в номинациях «Прорыв года» и «Лучший инновационный проект в промышленной сфере» правительства Санкт-Петербурга;
- *Google RISE Award (Roots in Science and Engineering)*;
- *Finlanding* от Правительства Финляндии.

Инвестиции

Инвестиции в робототехнику продолжают расти быстрыми темпами. В приведённой таблице по десяти крупнейшим сделкам 2018 г. общая сумма финансирования превысила \$11,5 млрд. Для сравнения: десять крупнейших сделок 2017 г. в сумме составили \$700 млн (рост более чем в 16 раз).

При этом, если в 2017 г. все крупнейшие инвестиции достались компаниям, производящим беспилотные транспортные решения, в 2018 г. к ним добавились производители логистических систем, искусственного интеллекта и промышленной автоматизации, а объёмы сделок увеличились в разы (на порядок, на несколько порядков). По мнению *The Robot Report*: «С точки зрения инвестиций в робототехнику 2018-й был феноменальным годом».

Меньшие по объёмам, но более многочисленные инвестиционные сделки доставались компаниям, производящим логистические системы, беспилотный транспорт и программно-аппаратные решения.

Как и в прошлом году, подавляющее большинство стартапов в обзоре (23 из 42) — из США, на втором месте (11 из 42) — из Китая. Самые активные компании-инвесторы и венчурные фонды — тоже из США и Китая, хотя нужно отметить крупные сделки японских компаний *Toyota* и *SoftBank* в области беспилотных автомобилей. Такая активность американских и китайских компаний может свидетельствовать, с одной стороны, о благоприятной для предпринимательства среде, с другой — об инвестиционной привлекательности стран.

Общий раскрытый объём сделок по слиянию и поглощению в 2018 г. превысил \$6,6 млрд. Примечательно, что две самые объёмные сделки относятся к категории медицинских роботов. Также было приобретено несколько компаний — разработчиков промышленных роботов и производителей механических и электронных компонентов для робототехники, отмечаются пять сделок по поглощению компаний — производителей беспилотного транспорта.

Таблица 2.10 крупнейших инвестиций в робототехнику 2018 г.

Компания	Категория продукта	Инвестор	Сумма сделки, млн
Uber (США)	Беспилотный транспорт (наземный)	Toyota (Япония) +2 раунда размещения облигаций	\$3100
SenseTime (Китай)	Искусственный интеллект	Softbank China (Китай) Fidelity International (США) Alibaba Group (Китай)	\$2200
Cruise Automation (США)	Беспилотный транспорт (наземный)	Softbank Vision Fund (Япония)	\$1650
PTC (США)	Промышленная автоматизация	Rockwell Automation (США)	\$1000
Nuro.ai (США)	Беспилотный транспорт (наземный)	SoftBank Vision Fund (Япония)	\$940
UBTech Robotics (Китай)	Роботы-игрушки/для хобби	Tencent Holdings (Китай)	\$820
JD (Китай)	Логистические системы	Alphabet (США)	\$550
Zoox (США)	Беспилотный транспорт (наземный)	Grok Ventures (Австралия)	\$500
Ocado (Великобритания)	Логистические системы	Kroger (США)	\$440
Woowa Bros. (Китай)	Логистические системы	Hillhouse Capital (Китай), Sequoia Capital (США), GIC (Сингапур)	\$320

Источник: The Robot Report

Таблица 3. Крупные инвестиции в робототехнику в 2018 г.

Компания	Категория продукта	Инвестор	Сумма, млн
Yitu Technology (Китай)	Искусственный интеллект	ICBC International Holdings (Китай) SPDB International (Китай) Gaocheng Capital (Китай) China Industrial Asset Management (Китай)	\$300
Auris Health (США)	Медицинские роботы (ассистенты для хирургии/терапии)	Partner Fund Management (США)	\$220
Graphcore (Великобритания)	Intelligence Processing Units (AI)	Atomico (Великобритания), BMW (Германия), Microsoft (США)	\$200
Geek+ (Китай)	Логистические системы	Warburg Pincus	\$150
Academy of Robotics (Великобритания)	Логистические системы	Не раскрывается	\$130
Voxel (США)	Логистические системы	Аеоп (Япония)	\$111
Beijing Auto AI Technology Co. (Китай)	Беспилотный транспорт	Robert Bosch Venture Capital GmbH (Германия)	\$104
Ekso Bionics Holdings Inc. (США)	Медицинские роботы	ZYVC (Китай)	\$100
Valens (Израиль)	Беспилотный транспорт	Linse Capital (США)	\$63
NASN Automotive Electronics Co. (Китай)	Беспилотный транспорт	Matrix Partners China (Китай)	\$59,6
RoboSense (Китай)	Беспилотный транспорт (лидары)	Alibaba (Китай)	\$45
MakeBlock (Китай)	Роботы-игрушки/для хобби	CICC ALPHA (Китай)	\$44

Компания	Категория продукта	Инвестор	Сумма, млн
AEye (США)	Беспилотный транспорт (лидары)	Taiwan Capital (Тайвань)	\$40
Kodiak Robotics (США)	Беспилотный транспорт (лидары)	Не раскрывается	\$40
Varaja Pty. Ltd. (Австралия)	Беспилотный транспорт (лидары)	Sequoia China (США/Китай)	\$32
Ridecell (США)	Беспилотный транспорт	Не раскрывается	\$32
Innovusion (США)	Беспилотный транспорт (лидары)	Nio Capital (Китай), Eight Roads Ventures (США)	\$30
NextVRU (Китай)	Машинное зрение	China Electronics Technology Group (США)	\$28,8
Humatics Corp. (США)	Беспилотный транспорт (навигация)	Tenfore Holdings (США)	\$28
Takeoff Technologies (США)	Логистические системы	Forrestal Capital (США)	\$24
Robotiq (Канада)	Коллаборативные роботы	Battery Ventures США	\$23,1
AirWorks Solutions LLC (США)	ПО для картографирования	Innospark Ventures (США)	\$23
RightHand Robotics (США)	Логистические системы	Menlo Ventures (США)	\$23
Hailo (Израиль)	АО для edge computing	Glory Ventures (Китай)	\$21
Temi (США)	Роботы-ассистенты (телеприсутствие)	John Wu, Generali Investments (Италия), Ogawa (Китай)	\$21

Источник: The Robot Report

Таблица 4. Крупные сделки (слияния и поглощения) в 2018 г.

Компания	Категория продукта	Новый владелец	Сумма сделки, млн
Auris Health (США)	Медицинские роботы	Johnson&Johnson (США)	\$3400
Mazor Robotics (Израиль)	Медицинские роботы	Medtronic (Ирландия)	\$1600
Transport (Малайзия)	Логистические системы	Honeywell (США)	\$493
Gimatic (Италия)	Компоненты для робототехники	Barnes Group (США)	\$420
MiR (Mobile Industrial Robots) ApS (Дания)	Логистические системы	Teradyne (США)	\$272
Aeryon Labs Inc. (Канада)	Беспилотный транспорт (воздушный)	FLIR Systems Inc. (США)	\$200
Genesis Systems Group (США)	Промышленные роботы	IPG (США)	\$115
Nitak GmbH (Германия)	Промышленные роботы	Jiangsu Hagong Intelligent Robot Co. (Китай)	\$100
Nextec Technologies (Канада)	Компоненты для робототехники	Maxar Technologies (США)	\$32

Компания	Категория продукта	Новый владелец	Сумма сделки, млн
Kraken Power GmbH (Германия)	Беспилотный транспорт (подводный)	Kraken Robotics (Канада)	\$0,1
PRI Robotics & Automation Inc. (США)	Промышленные роботы	Eckhart Inc. (США)	Не раскрывается
DESCH Antriebstechnik GmbH (Германия)	Компоненты для робототехники	Nidec Corp. (Япония)	Не раскрывается
Emulate3D Inc. (Великобритания)	Программное обеспечение	Rockwell Automation Inc. (США)	Не раскрывается
Uplift (США)	Беспилотный транспорт (воздушный)	PrecisionHawk (США)	Не раскрывается
Skeye (Великобритания)	Беспилотный транспорт (воздушный)	Terra Drone (Япония)	Не раскрывается
Rethink Robotics IP* (США)	Коллаборативные роботы	HANN Group (Германия)	Не раскрывается
Howe & Howe Technologies (США)	Беспилотный транспорт	Textron (США)	Не раскрывается

Источник: The Robot Report

Потерпевшие неудачу

В октябре 2018 г. производитель коллаборативных роботов *Rethink Robotics* прекратил все операции. Компания была образована в 2008 г. и за время своего существования смогла привлечь \$149,5 млн. В производственной линейке компании было две модели коллаборативных роботов-манипуляторов. *Rethink Robotics* не смогла выйти на запланированные объёмы производства и продаж, и тому существует несколько причин.

В течение долгого времени производитель не смог решить инженерные проблемы с управлением эластичными актуаторами, которые были выбраны вместо более традиционных электромеханических решений. Производимые роботы имели недостаточную точность и плавность движений и создавали много шума.

Кроме того, компания сделала стратегическую ошибку, неправильно определив целевую аудиторию для своей продукции. Вместо того чтобы предлагать своих коллаборативных роботов компаниям-производителям, *Rethink* делала ставку на продажи исследователям. Также некоторые эксперты отмечают, что один из продуктов компании, робот *Baxter* с двумя манипуляторами,

был «...роботом ради робототехники, а не инструментом для выполнения задач». Интеллектуальная собственность *Rethink Robotics* была выкуплена немецкой *HAN Group*.

В ноябре 2018 г. производитель социальных роботов *Jibo* подал заявление о прекращении деятельности (*Foreign Certificate of Withdrawal*). Компания существовала с 2012 г. и за это время смогла привлечь почти \$73 млн инвестиций. В июне 2018 г. *Jibo* продал свои активы инвестиционно-управляющей компании *SQN Venture Partners*.

Причин, приведших к данной ситуации, несколько. Во-первых, это проблемы с производством, повлёкшие многочисленные задержки поставок продукта потребителям (что вынудило краудфандинговую платформу *Indiegogo* предоставлять компенсации за неполученные товары). Во-вторых, это проблемы с локализацией продукта на иностранных рынках, что вынудило *Jibo* ограничиться поставками только в США и Канаду. И самое главное, производитель оказался не способен конкурировать с *Tier-1* — производителями аналогичных продуктов (*Amazon*, *Google*) — ни по функциональности, ни по цене.

В середине марта 2019 г. также стало известно, что ещё один производитель «потребительских» роботов прекратил свою деятельность. Французская компания *Keecker* предлагала мобильного

106.

*Робот Vector
компании Anki*

Источник: <https://www.engadget.com>

107.

Робот Keecker

Источник: <https://www.bbc.com>

108.

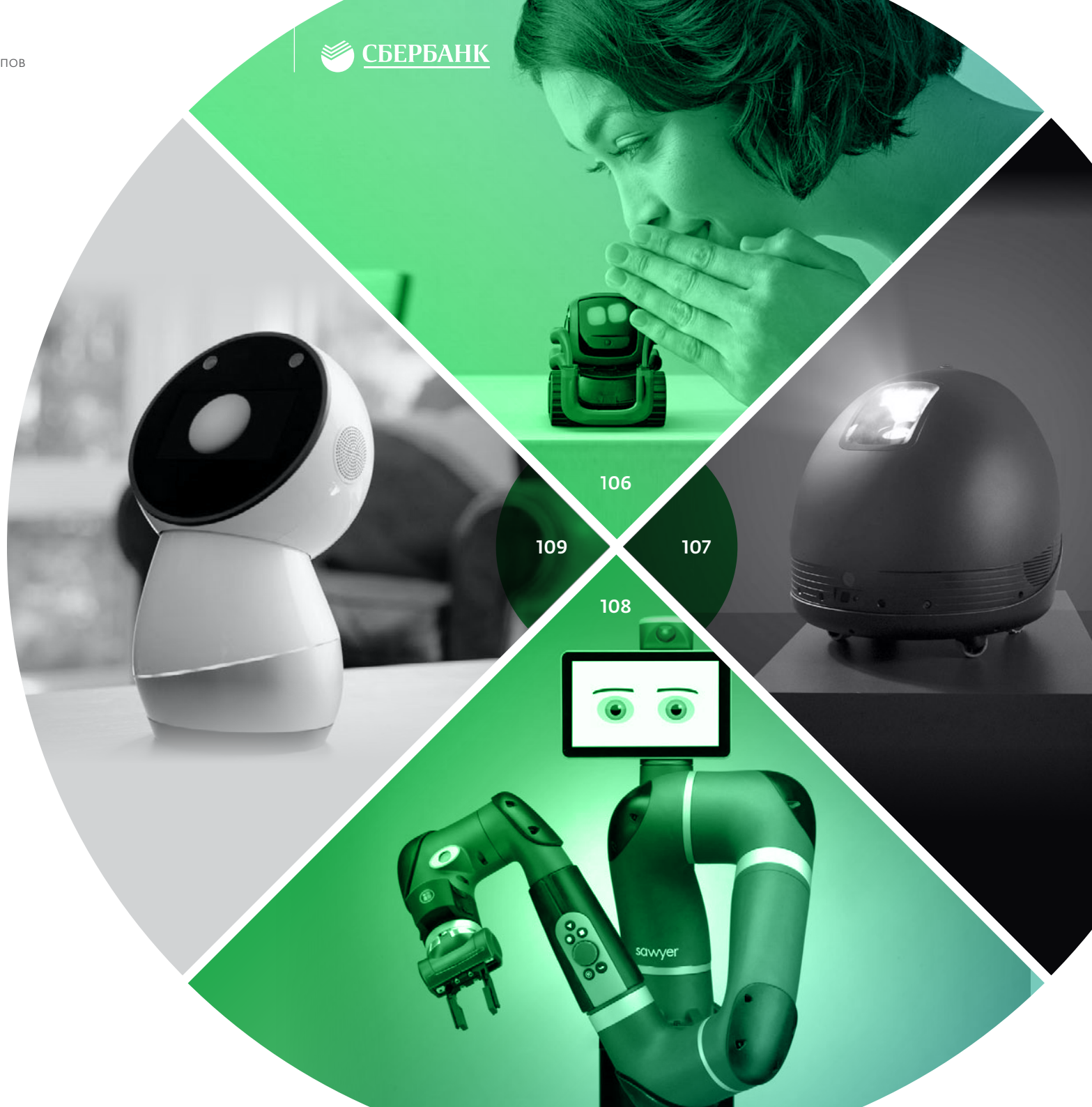
Робот Sawyer

Источник: spectrum.ieee.org

109.

Робот Jibo

Источник: <https://esfstream.com>



робота для домашнего использования, который обеспечивал пользователей развлечениями, видеонаблюдением, а также функциями связи и «умного дома». По заявлениям производителя, компания смогла продать более 1000 своих роботов и привлечь тысячи пользователей, а статистика использования доходила до 3,5 часа в день. Компания была образована в 2012 г. и смогла привлечь порядка \$8 млн инвестиций. Однако в результате *Keecker* оказалась неспособна ни выйти на доходность, ни привлечь очередных инвесторов. Компания выпустила последние обновления программного обеспечения робота и мобильных приложений для сохранения ограниченной функциональности своего продукта и готовится к отключению корпоративных серверов.

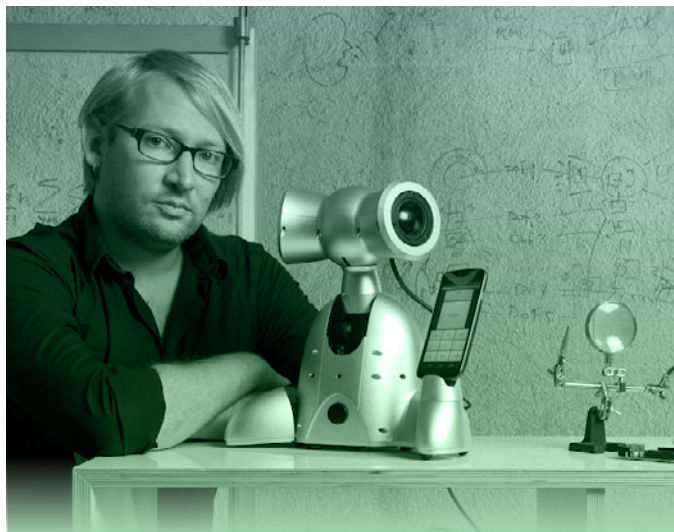
Ряды производителей домашних сервисных роботов также покинула компания *Mayfield Robotics* со своим роботом *Kuri*. Интересно отметить, что с момента своего основания в 2015 г. производитель получал поддержку от корпорации *Bosch*, пользуясь возможностями, предоставляемыми корпоративной платформой для стартапов *Grow platform GmbH*. *Mayfield Robotics* говорили, что их *Kuri* поможет *Bosch* понять, являются ли домашние роботы интересным для корпорации направлением. Компания активно вела разработку и нанимала специалистов. Тем более неожиданной стала новость, что операции остановлены, *Kuri* не будет поставляться, а все предоплаты возвращаются клиентам.

Ещё одно заметное событие 2019 г. — прекращение деятельности компании *Anki*, производителя домашних социальных роботов *Vector* и *Cozmo*, которые могли поддержать беседу и выполнить несложные поручения, например рассказать о погоде или включить таймер. Позже появилась возможность установки на робота голосового помощника *Alexa* от *Amazon*.

За время своего существования с 2010 г. компания привлекла инвестиции на сумму \$182 млн и продала более 1,5 млн роботов, заработав около \$100 млн в 2017 г. Тем не менее в апреле 2019 г. компания объявила о прекращении деятельности из-за того, что компания не получила новый раунд инвестиций, на котором строилась её стратегия.

Негативный опыт перечисленных выше компаний складывается в достаточно неопределённую картину для рынка домашних сервисных роботов. Пока можно только предполагать, как ситуация будет развиваться далее.

Возможно, время массового рынка домашних роботов ещё не наступило и первопроходцы не в состоянии достаточно разогреть ситуацию. Этот период можно сравнить с планшетными компьютерами: первые из них появились в 90-х и 2000-х: *Apple Newton*, *Palm Pilot* и *Microsoft Tablet PC*, но по-настоящему коммерчески успешным этот класс устройств стал только после 2010 г. с приходом *Apple iPad*.



«В общем и целом я предсказываю, что, когда дизайнеры начнут запускать свои собственные компании по производству социальных роботов, куда они будут нанимать инженеров, а не наоборот, мы в конце концов поймем, что скрытая потребность в домашних роботах давно существовала».

Гай Хоффман,

исследователь в области взаимодействия человека и робота, Корнелльский университет

Источник: <http://guyhoffman.com>

Возможно, что функционал, предлагаемый производителями, выбран неправильно и потребители не видят для себя долговременных выгод от роботизации этих функций, например, умная колонка *Amazon Echo* за \$100 с голосовым помощником *Alexa* умеет выполнять больше поручений, чем робот *Jibo* за \$1000. И это закономерно, поскольку маленькие компании могут конкурировать с ИТ-гигантами скорее скоростью выпуска нишевых продуктов-роботов, чем разработкой широкого стека технологий для областей искусственного интеллекта — обработки естественного языка и распознавания разговорной речи. Поэтому стартапы, лишённые финансовых возможностей корпораций, сильно подвержены риску фатальных ошибок. А крупные производители, такие как *LG* и *Amazon*, продолжают разрабатывать роботов в надежде на то, что у них хватит ресурсов для создания рынка или он уже будет создан к моменту выхода их продуктов.

По нашему мнению, рынок сервисных домашних роботов имеет значительный потенциал и может развиваться в действительно массовую индустрию, когда домашние роботы перейдут из стадии необязательных игрушек в стадию многофункциональных помощников. И здесь опыт ушедших компаний обязателен к изучению как крупными производителями, так и стартапами, собирающимися играть на этом поле.



04

Робототехника в России

В нашем прошлогоднем обзоре рынка робототехники мы заявляли, что у России существует потенциал для того, чтобы стать значимым игроком на рынке сервисной робототехники. К сожалению, этот потенциал так и остается нереализованным. Отдельные успехи некоторых отечественных стартапов на нишевых рынках не меняют общей картины. Но, несмотря на отсутствие значимых успехов, на карте робототехники России продолжают появляться новые имена.

Обзор рынка

В прошлом году, анализируя состояние российского рынка промышленной робототехники, мы констатировали, что он почти достиг «дна». Однако, поскольку развитие промышленности неизбежно влечет за собой роботизацию (нет современного производства без роботов), в России есть хороший потенциал для внедрения в производственную эксплуатацию роботов последнего поколения. Сейчас мы видим, что этот потенциал не реализуется.

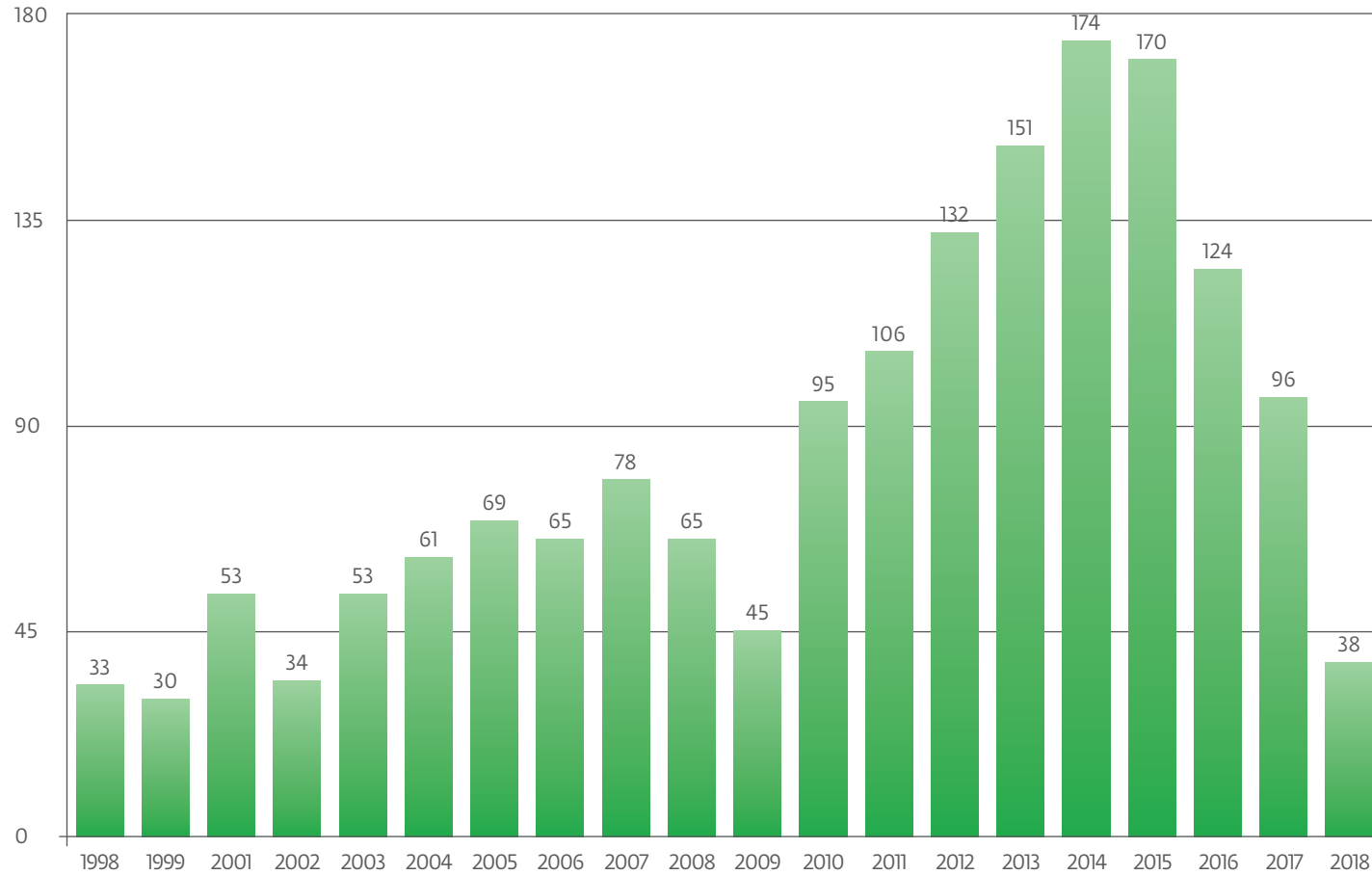
Рост промышленного производства в России в 2018 году составил около 3%, при этом рост в обрабатывающих отраслях — чуть выше, 3,2% (данные Минэкономразвития). Однако, учитывая низкую плотность роботизации в стране, мы не можем делать выводы о коррелирующем росте инвестиций в производство о внедрении промышленных робототехнических решений.

Вместе с тем мы видим, что у крупных отечественных государственных и частных компаний растёт интерес к робототехнике. Государство само по себе предпринимает определённые усилия, направленные на развитие технологий, профильного образования и государственного регулирования. Отметим наиболее заметные из них.

Крупные компании проявляют интерес к робототехнике.

- Ozon — один из крупнейших интернет-магазинов в России — намерен роботизировать обработку заказов⁷⁰.
- Компания «Газпром нефть» заключила с ЦНИИ РТК соглашение о сотрудничестве в области разработки робототехники и систем беспилотного управления⁷¹. И уже показала прототип робота для загрузки нефтепродуктов в аэродромный топливозаправщик⁷².
- Компания «Северсталь» вложила деньги в фонд *Chrysalix RoboValley*, который инвестирует в разработку роботов и искусственного интеллекта⁷³.
- Группа компаний «Алроса» и ОМЗ (Объединенный машиностроительный завод) совместно с фондом «Сколково» запустили конкурс «Техностарт-2019», в рамках которого ищут проекты в том числе по робототехнике⁷⁴.
- Холдинг СИБУР запустил корпоративный акселератор, в рамках которого ищет проекты по робототехнике⁷⁵.
- Появился Национальный центр компетенций по робототехнике и мехатронике на базе

Рисунок 10. Количество патентов с ключевым словом «робот», выданных на территории РФ



Источник: Лаборатория робототехники Сбербанка, Derwent Innovation

Университета Иннополис. Центр образован консорциумом нескольких вузов и крупных компаний — индустриальных партнёров, включая Сбербанк⁷⁶.

- Появилась национальная программа «Цифровая экономика». За ход этой программы отвечает одноименная автономная некоммерческая организация, в которой Сбербанк выступил одним из соучредителей. В задачи программы входит развитие цифровых сквозных технологий, среди которых — компоненты робототехники и сенсорики⁷⁷.
- Национальная ассоциация участников рынка робототехники России (НАУРР) при поддержке Минпромторга объявила о начале работы над стратегией развития робототехники в России⁷⁸.

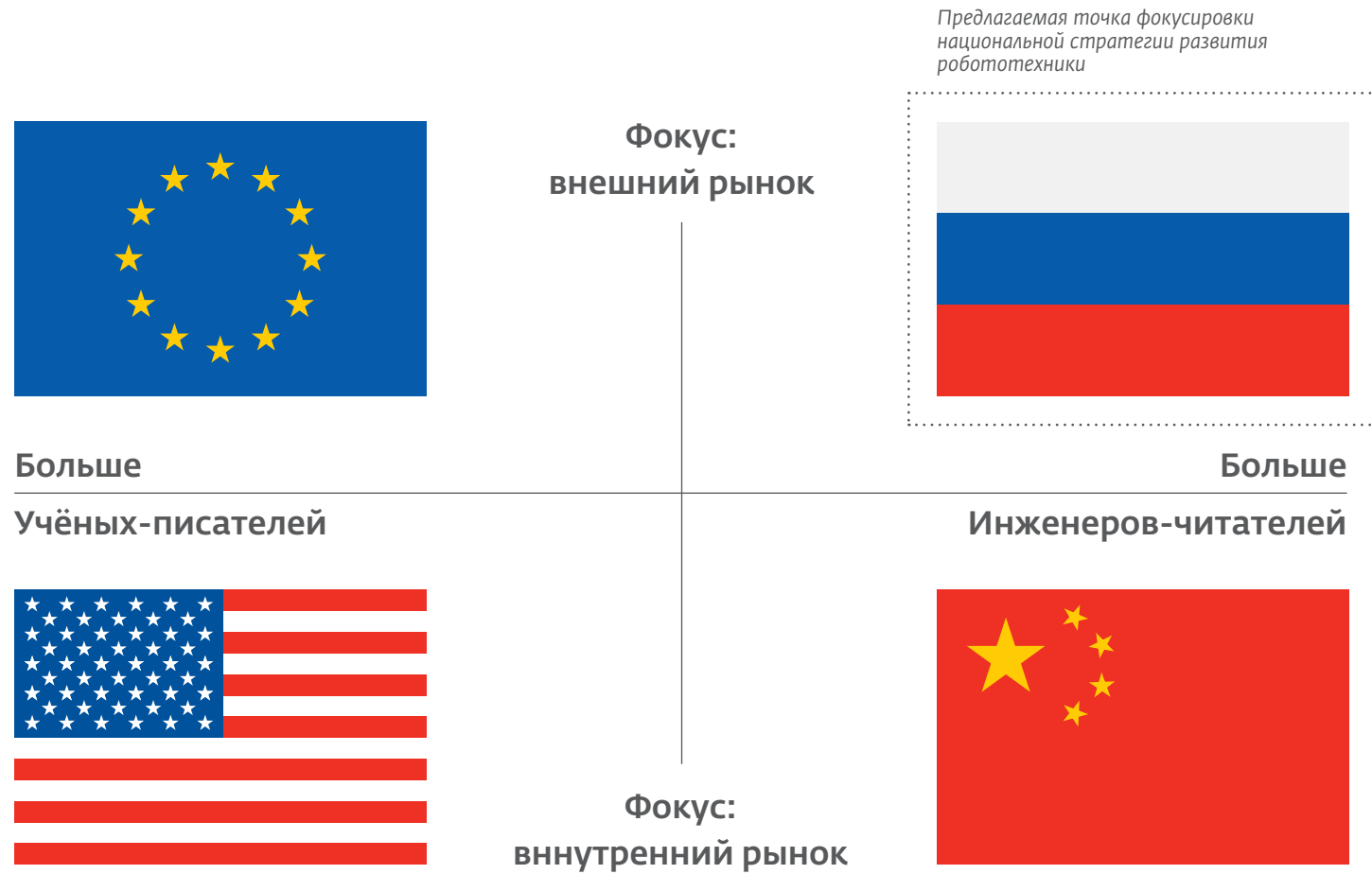
Главная развилка на пути развития российской робототехники

К настоящему моменту в мире сложилось несколько подходов к развитию национальных робототехнических программ, характеристики которых можно описать по следующим признакам:

- фокусировке на фундаментальные научные исследования в области робототехники или наоборот, на инженерное воплощение результатов исследований;
- фокусировке на продажи на внутреннем рынке или наоборот, экспансия на внешние рынки.

В такой системе координат можно определить, что, например, робототехника США характеризуется значительным количеством фундаментальных научных исследований (много ученых, пишущих научные статьи), а местные производители ориентированы на ёмкий внутренний североамериканский рынок.

Рисунок 111. Матрица подходов к развитию национальных программ



Источник: Лаборатория робототехники Сбербанка

В то же время робототехника стран Европейского союза также опирается на сильную фундаментальную науку, но внутренний рынок ЕС значительно менее ёмкий, поэтому европейские производители ориентированы на потребителей на внешнем рынке.

Если мы посмотрим на путь развития робототехники Китая, становится очевидным, что местные производители работают в основном на удовлетворение внутреннего спроса и на текущий момент являются потребителями результатов зарубежных фундаментальных исследований, то есть в стране больше инженеров, изучающих иностранные научные материалы и воплощающих разработки «в металле».

Что касается положения российской робототехники, то ситуация у нас отчасти похожа на китайскую: сейчас мы больше потребляем результаты зарубежных фундаментальных исследований, чем производим свои. При этом ёмкость внутреннего российского рынка пока является незначительной и для устойчивого развития отечественных разработчиков и производителей робототехнических систем необходимо сосредотачивать усилия на внешних рынках. Естественно, такая матрица не является чёрно-белой, и интересы отечественных потребителей обязательны к удовлетворению, и развитие российской фундаментальной науки



является фактором обеспечения национальной безопасности. Однако, по нашему мнению, именно такой подход даёт возможность определить направление, которое позволит обеспечить более энергичный старт и устойчивое развитие робототехники в России.

SWOT-анализ российской отрасли робототехники

Прошедший год подтвердил правильность выбора метода *SWOT* для анализа ситуации в российской отрасли робототехники. К сходным выводам приходили и другие исследователи, в том числе в ходе разработки ДК СЦТ «Компоненты робототехники и сенсорика». В рамках проекта «Цифровая экономика», по нашему мнению, указанные нами факторы, влияющие на российскую робототехнику и представленные в *SWOT*-анализе прошлого года, не потеряли своей актуальности. Однако мы пересмотрели формулировки некоторых из них, а также расширили и обновили все четыре категории в связи с изменением экономической, технологической и геополитической ситуации.

Таблица 5. SWOT-анализ российской отрасли робототехники

Сильные стороны

- Отечественная инженерная школа: конструирование и программирование
 - Популярность инженерного образования растёт
- Умение решать сложные и уникальные технические задачи
 - Отечественные изобретения обладают преимуществом
- Технократическое население
 - Легкость адаптации населения к новым технологиям
- Позитивное отношение к роботам
 - Роботы помощники, а не конкуренты

Слабые стороны

- Низкая скорость и высокая стоимость прототипирования
 - Сложно создать прототип робота в вузе или стартапе
- Дефицит мощностей отечественного передового производства
 - Масштабирование продукта является барьером для снижения стоимости продукта
- Недостаток молодых квалифицированных преподавательских кадров и устаревание образовательных программ вузов
 - Отсутствие полной национальной стратегии развития образовательных программ в области робототехники
- Низкая культура промышленного дизайна
 - Сложно создать привлекательный для потребителя продукт
- Миграционная политика и низкая соцзащита трудящихся
 - Роботизация невыгодна в силу того, что всегда есть дешёвая рабочая сила, не имеющая адекватной социальной защиты
- Слабое проникновение лучших мировых практик роботизации в народное хозяйство
 - Лица, принимающие решения, не имеют необходимых знаний для принятия осознанных решений о технологической модернизации и роботизации

Источник: Лаборатория робототехники Сбербанка

Таблица 6. SWOT-анализ российской отрасли робототехники

Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"> • Снижение стоимости «входного билета» в робототехнику для стартапов <ul style="list-style-type: none"> • Увеличение количества стартапов, повышение конкуренции • Отсутствие устоявшихся лидеров на мировом рынке сервисной робототехники <ul style="list-style-type: none"> • Проигравшие гонку компании освобождают нишу для новых претендентов • Возможности для радикального повышения производительности труда <ul style="list-style-type: none"> • Невысокая производительность труда создаёт большой потенциал для модернизации производства • Доступная электроэнергия и металлы <ul style="list-style-type: none"> • Возможность производить и внедрять робототехнические решения с меньшей стоимостью • Расширение областей применения робототехники <ul style="list-style-type: none"> • Новые робототехнические решения позволяют автоматизировать новые рыночные ниши • Совпадение точек роста мировой робототехники и традиционно конкурентных отраслей России <ul style="list-style-type: none"> • Значительный потенциал для разработки, внедрения и экспорта робототехнических решений для добывающей промышленности, сельского хозяйства, атомной энергетики, авиа- и судостроения • Громадная территория и немногочисленное население <ul style="list-style-type: none"> • Применение беспилотного транспорта оправданно и эффективно • Сильный сервисный сектор экономики <ul style="list-style-type: none"> • Ёмкая ниша для роботизации розничной торговли и сферы услуг 	<ul style="list-style-type: none"> • «Появление софонов^о» — геополитические барьеры на пути фундаментальной науки <ul style="list-style-type: none"> • Экономические санкции и затруднение международного научного сотрудничества • Ускорение утечки мозгов <ul style="list-style-type: none"> • Эмиграция квалифицированных специалистов • «Зима робототехники» — падение интереса частных инвесторов <ul style="list-style-type: none"> • Дефицит «умных и терпеливых» денег у частных инвесторов • Быстрая разработка прорывных технологий/ускорение гонки технологий <ul style="list-style-type: none"> • Ускорение жизненного цикла стартапа, продукта

Источник: Лаборатория робототехники Сбербанка

^о Софоны — вымышленные инопланетные многомерные элементарные частицы с искусственным интеллектом, призванные блокировать развитие земной фундаментальной науки. Описаны в научно-фантастическом романе Лю Цысиня «Задача трех тел».

Сильные стороны

Отечественная инженерная школа: конструирование и программирование

- Популярность инженерного образования растёт^{79,80}. При этом в России сохраняется сильная инженерная школа. Особенно это относится к программированию и конструированию. Только по специальности «мехатроника и робототехника» ежегодно примерно 800 молодых людей получают дипломы инженеров в 60 вузах России.

Умение решать сложные и уникальные технические задачи

- В истории нашей страны много примеров, когда наши инженеры решали сложнейшие задачи: пионерские работы в области радио, электричества, аэродинамики, ядерной физики и исследования космоса. Данная особенность многократно отмечается зарубежными исследователями истории науки и техники России⁸¹.

Технократическое население

- Население России демонстрирует быстроту адаптации к новым технологиям. Это видно

на примере проникновения как смартфонов, так и электронных видов взаимодействия населения с государством и бизнесом. Это дает шанс для быстрой адаптации населения к новым продуктам и услугам, которые основаны на роботах и искусственном интеллекте.

Позитивное отношение к роботам

- Культурный код Советского Союза двадцать с лишним лет назад сформировал отношение к роботам как помощникам человека, помогающим людям не только исследовать окружающий мир, но и помогать человеку постигать самого себя⁸². Поскольку культурный код СССР во многом транспонировался в культуру современной России, то позитивное отношение к робототехнике в целом способствует популяризации данного направления технологии как вида деятельности среди населения.

Слабые стороны

Низкая скорость и высокая стоимость прототипирования

- Сложности с созданием прототипов роботов обусловлены как низкой скоростью их

создания с помощью профильных центров прототипирования, так и высокой стоимостью работ, по сравнению с аналогичными проектами в азиатских технологических кластерах типа Шэньчжэня. Многие успешные робототехнические компании создают собственные центры быстрого прототипирования (разработки) прямо рядом с крупными торговыми центрами электроники — это помогает выполнять работы намного быстрее, чем конкуренты, более удаленные от поставщиков.

Дефицит мощностей отечественного передового производства

- Передовые технологии производства являются ключевым инструментом для масштабирования продукта. Их отсутствие в России является барьером для снижения стоимости продукта и, как следствие, препятствует повышению их конкурентоспособности на международном рынке. Удачно выполненный прототип создает для предприятий возможности. Но эти возможности могут быть быстро упущены, если нет производства, способного дёшево, качественно и быстро обеспечивать изготовление в срок необходимого количества продукта.

Недостаток молодых квалифицированных преподавательских кадров и устаревание образовательных программ вузов

- Отсутствие ясной и полной национальной стратегии развития образовательных программ в области робототехники приводит к тому, что упоминавшаяся ранее отечественная инженерная школа в то же время испытывает громадный дефицит квалифицированных преподавателей, равно как и стремительное устаревание образовательных программ. Молодые талантливые инженеры находят применение в частном секторе и не имеют никакого желания делиться своим опытом с новым поколением инженеров. Образовательные программы стремительно устаревают в силу ускорения жизненного цикла технологий, с одной стороны. С другой — текущее поколение преподавателей не заинтересовано в переходе на новые программы обучения, так как это приведёт к переписыванию уже созданных программ. Например, в России нет ничего похожего на стратегические планы по научному, технологическому, инженерному и математическому образованию (*STEM-Education*, США). В частности, обучающие программы в области коллаборативной робототехники имеют всего два отечественных университета: Сколтех и Иннополис.

Низкая культура промышленного дизайна

- Для сервисной робототехники, т. е. отрасли, которая оказывает услуги человеку, вопросы промышленного дизайна имеют приоритетное значение. Однако в России до сих пор чрезвычайно сложно создать привлекательный для потребителя продукт. Это связано как с большим дефицитом квалифицированных дизайнеров, так и низким качеством и высокой стоимостью работ существующих в России профильных центров промышленного дизайна. Подобная ситуация тормозит вывод на рынок привлекательных для потребителя решений. Отечественные компании, желающие выйти на международный рынок и создавать конкурентоспособные решения, вынуждены прибегать к услугам зарубежных дизайнеров.

Непродуманная миграционная политика и низкая социальная защита трудящихся

- Инвестиционная привлекательность промышленной робототехники зависит в первую очередь от стоимости ручного труда и социальной защиты работников. Если труд человека оплачивается хорошо, а механизмы социальной защиты работников от вредных условий деятельности выстроены адекватно, то роботизация выгодна. Но если трудящимся

мало платят, а работодатель не заботится об условиях труда, то роботизация невыгодна в силу того, что всегда есть дешевая рабочая сила, не имеющая адекватной социальной защиты. Миграционная политика также несет свой вклад в слабую инвестиционную привлекательность робототехники в России — если для выполнения низкоквалифицированной рутинной работы выгоднее принять на работу трудового мигранта, чем внедрить технологию, то мало шансов на развитие высокотехнологичных отраслей. Вспоминая «экономическое» определение робота нобелевского лауреата Пола Кругмана, можно сказать, что робот может всё, кроме одного — заменить собой трудового мигранта, особенно когда работодатели не заинтересованы в такой замене.

Слабое проникновение лучших мировых практик роботизации в народное хозяйство

- Лица, принимающие решения, не имеют необходимых знаний для принятия осознанных решений о технологической модернизации и роботизации. Слабое проникновение лучших мировых практик в процессы модернизации в различных отраслях и низкий уровень готовности лиц, принимающих решения, к их использованию препятствуют

массовому внедрению робототехнических решений и требуют незамедлительных действий, как популяризационного, так и административного характера. Большинство решений отечественных руководителей основаны на получении краткосрочной финансовой выгоды. Долгосрочные экономические и социальные последствия редко принимаются в расчёт.

ВОЗМОЖНОСТИ

Снижение стоимости «входного билета» в робототехнику для стартапов

- Под действием закона Мура происходит постоянное снижение стоимости аппаратного обеспечения, необходимого для развития робототехники. Создание новых сенсоров (типа *Microsoft Kinect*) привело к появлению большого количества проектов, использующих новые возможности в области компьютерного зрения, распознавания голоса, жестов, людей и объектов. Низкая входная стоимость приводит к быстрому входу на рынок нетрадиционных игроков. К примеру, *Google Waymo* является совершенно нетрадиционным игроком на рынке транспортной мобильности. Другой пример — создатели «камер с крыльями» (например, *DJI*)

вызвали к жизни целую отрасль беспилотников. Ранее эта отрасль была в основном вотчиной крупных оборонных холдингов. Одновременно с этим происходит соответствующее повышение «градуса» конкурентной борьбы.

Отсутствие устоявшихся лидеров на мировом рынке сервисной робототехники

- Высокая конкуренция на рынке сервисной робототехники только способствует постоянному открытию новых рынков для новых игроков. Многие компании-стартапы банкротятся и закрываются (см. раздел «Потерпевшие неудачу» в третьем разделе обзора), но это освобождает место для новых, более сильных команд, которые продолжают начатое дело с учетом накопленного предшественниками опыта. В конце концов сами инженеры остаются и могут использовать свой опыт, зачастую негативный, в других проектах. И предоставляют свой бесценный негативный опыт для анализа правильности решений конкурирующим командам.

Появление новых программных и аппаратных робототехнических решений

- Это даёт возможность автоматизации того, что ранее автоматизировать было

трудно либо невозможно. К примеру, если ранее промышленные манипуляторы применялись в основном в цехах предприятий (строго детерминированная среда), то коллаборативная робототехника, мобильные автономные роботы всё более и более применяются в различных сервисных отраслях — от гостиничного бизнеса до финансов и розницы.

Совпадение точек роста мировой робототехники и традиционно конкурентных отраслей России

- В развитых странах роботы уже широко внедрены во множество отраслей — от автомобилестроения до химической промышленности. В некоторых отраслях особенно передовых стран (Ю. Корея, см. выше раздел «Мировая робототехника»), таких как автомобилестроение, роботизация близка к своему насыщению. Однако некоторые отрасли пока ещё не получили массового внедрения роботов в силу технологических сложностей или в силу того, что спрос на услуги в этих отраслях только появился. К примеру, применение робототехники в растениеводстве ещё не высоко в силу того, что роботы не имеют манипуляционных возможностей для сбора плодов культур, которые есть у человека. Ручной труд пока превалирует в сборке самолетов и судов потому, что необходимо

проявлять высочайшую точность выполнения операций в ограниченных пространствах. В атомной промышленности только началась смена технологической парадигмы, что вызвало за собой необходимость демонтажа устаревших атомных электростанций, породив многомиллиардный рынок услуг по демонтажу энергетических блоков атомных электростанций. По нашему мнению, это создаёт значительный потенциал для разработки, внедрения и экспорта робототехнических решений для добывающей промышленности, сельского хозяйства, атомной энергетики, авиа- и судостроения. Именно эти отрасли также являются наиболее конкурентоспособными отраслями народного хозяйства России. Это открывает окно возможностей для разработки робототехнических решений как для удовлетворения внутреннего спроса, так и для вывода разрабатываемых решений на международные рынки с гарантированным спросом.

Громадная территория и немногочисленное население

- Применение беспилотного транспорта (воздушного, наземного, морского и речного) в нашей стране может быть оправданно и экономически эффективно в силу громадных

территорий и малочисленного населения. В результате беспилотный транспорт на наших маршрутах может быть использован в коммерческих целях чуть раньше, чем в странах с более высокой плотностью населения. К примеру, только в одном Сбербанке инкассационные бригады перевозят тысячи тонн ценных грузов на десятки тысяч километров из-за того, что отсутствует прямое дорожное сообщение между населёнными пунктами, удалёнными друг от друга лишь на несколько десятков километров.

Сильный сервисный сектор экономики

- Сильная сервисная экономика России создает возможности для широкого применения робототехнических решений. Совокупно торговля и финансы составляют около 20% ВВП России. Розничная торговля и логистика — в числе основных отраслей применения робототехники. В России доля торговли в ВВП является одной из самых высоких в мире даже по сравнению с другими странами, ориентированными на сервисную экономику. С точки зрения развития робототехники это является конкурентным преимуществом, так как дает шанс использовать значительный «домашний» рынок для создания решений, конкурентоспособных на международном рынке.

Угрозы

«Появление софонов» — геополитические барьеры на пути фундаментальной науки

- Следуя идее Лю Цысиня, мы назвали софонами барьеры для фундаментальной науки, посланные враждебными нам силами для ограничения развития нашей цивилизации. Для нас это является новым пунктом в SWOT-анализе, но нам показалось важным отразить его. Тем более никто не делал этого ранее. В текущей реальности отечественные фундаментальные исследования в сфере робототехники и сенсорики испытывают серьезнейшее противодействие, как и в других отраслях⁸³. Действующий режим санкций против Российской Федерации ставит барьеры на научно-техническое сотрудничество с зарубежными специалистами, препятствует импорту технологий и перекрывает доступ к международным инвестициям.

Ускорение утечки мозгов

- Эмиграция квалифицированных специалистов имеет тенденцию к увеличению. По данным исследовательского агентства *Gallup*⁸⁴, доля граждан России, готовых эмигрировать,

утроилась с 2014 года и достигла рекордных 20%. В то же время результаты исследования агентства *Stratfor*⁸⁵ показывают, что среди желающих эмигрировать 23% — это люди с высшим образованием, медики, инженеры, учёные и преподаватели. Главная причина этой опасной тенденции — отсутствие у молодых ученых возможности заниматься наукой на родине⁸⁶.

«Зима робототехники» — падение интереса частных инвесторов

- Вслед за чрезвычайным спросом на робототехнические идеи и компании неизбежно приходит ослабление интереса к теме со стороны большинства частных инвесторов. Это происходило уже не раз с отраслью искусственного интеллекта. Это неизбежно ждёт и робототехнику. Этот тезис подтверждается целой чередой банкротств некогда успешно растущих стартапов, которые по тем или иным причинам не смогли выйти на очередной раунд инвестиций. Эта проблема является глобальной, но, учитывая неблагоприятный инвестиционный климат в России, она будет оказывать тормозящий эффект на отечественный рынок. По нашему мнению, «зима робототехники» уже наступила. Время лёгких решений миновало, а с рынка в основном ушли долгосрочные венчурные

инвесторы. Мы наблюдаем дефицит «умных и терпеливых» денег у частных инвесторов. Ответной реакцией технологических компаний, нуждающихся в решениях своих проблем, является создание собственных лабораторий, нацеленных на создание прорывных решений.

Быстрая разработка прорывных технологий/ ускорение гонки технологий

- Ускорение жизненного цикла стартапа или продукта в развитых странах является значительной угрозой для исследований и разработок в более отсталых в технологическом отношении странах. Это оказывает сильное негативное воздействие на российских разработчиков, которым становится всё сложнее поддерживать технологическую гонку за лидерами индустрии и принуждает отказываться от амбициозных задач в пользу более нишевых решений. Перефразируя слова из интервью Стивена Элопа⁸⁷, можно сказать, что за то время, что в России делают презентацию о продукте, в Шэньчжэне делают сам продукт.

Российский рынок транспортных беспилотных авиационных систем: драйверы, тенденции, барьеры и перспективы

Ключевые драйверы и основные тенденции развития рынка

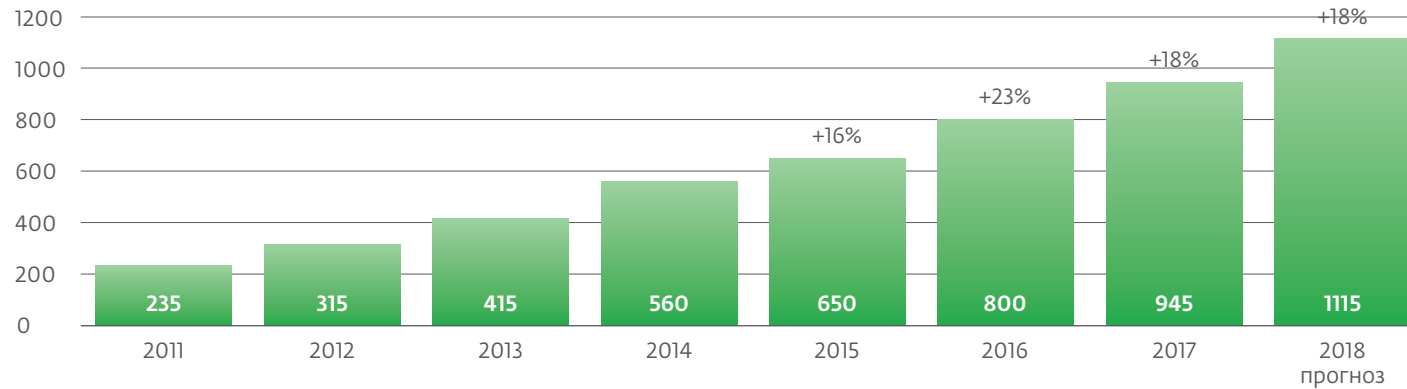
Плохие дороги. В 2018 году грузооборот транспорта в России в январе-сентябре 2018 г. составил 4,18 трлн тонн-километров (т-км), что на 2,9% больше, чем за аналогичный период 2017 г. За отчётный период грузооборот железнодорожного транспорта вырос на 4,4% и составил 1,93 трлн т-км, автомобильного — на 2,9%, до 190,1 млрд т-км, трубопроводного — на 2,1%, до 1,97 трлн т-км. При этом качество дорог в половине российских регионов признаётся неудовлетворительным, а покрытие дорожной сетью — недостаточным.

Нехватка пилотов вертолётов. Авиакомпании, занимающиеся перевозкой грузов для нужд нефтяной и газовой промышленности, заявляют, что наблюдается дефицит лётного состава. На каждый новый вертолёт, по словам генерального директора компании *Utair* Андрея Мартиросова, требуется по три экипажа из двух человек, при этом из профессии, в основном по возрасту, уходят 200 пилотов ежегодно, а училища, которые готовят вертолётчиков, могут выпускать максимум 100 человек в год. По данным Ассоциации вертолётной индустрии (АВИ), 27% вертолётчиков в России — в возрасте 60 лет и старше, ещё 48% — в возрасте 50–59 лет. Открытие трёх новых летных училищ и закупка для них 200 лёгких учебных вертолётов может стать очень сложной задачей для государства. Все эти факторы в ближайшей перспективе могут привести к значительному росту зарплат пилотов вертолётов.

Развитие электронной торговли. Электронная торговля в России показывает уверенный рост с 2011 г. (рисунок 112), в 2018 г. ожидался рост на 18% по сравнению с 2017 г. Это приведёт к увеличению доставок отправок с применением курьерских служб и транспортных компаний.

Описанные выше факторы приведут к появлению альтернативных способов перевозки, позволяющих удовлетворять потребности рынка. Логистические беспилотные летательные аппараты (БЛА) могут стать одним из таких способов.

Рисунок 112. Онлайн-продажи материальных товаров в России



Источник: Data insight

Анализ существующих и прогнозируемых правовых, организационных, экономических, технологических и социально-политических барьеров для развития рынка

Нормативная база, существующая в РФ, предъявляет следующие требования к эксплуатации БЛА:

- разрешительный порядок осуществления вылета через зональный аэронавигационный центр (подача заявки за 5 суток);
- обязательная постановка на учёт воздушного судна;
- обязательная сертификация воздушных судов массой более 30 кг;
- обязательное наличие «внешнего пилота»;
- получение разрешения на полёт в органах региональной власти и ФСБ.

Таким образом, к БЛА предъявляется целый комплекс требований регулятора, что приводит к невозможности их использования в подходящих, на первый взгляд, случаях, например для срочной доставки грузов, так как разрешение на полёт нужно подавать за пять суток. При перевозке грузов более 10 кг стартовая масса аппарата, как правило, превышает 30 кг, вследствие чего потребуется обязательная сертификация БЛА, которая повлечёт за собой дополнительные трудозатраты. В настоящее время большинство БЛА использует для движения воздушное пространство класса G, в котором они не видны другим участникам движения (этот технологический барьер будет описан далее). Поэтому для избегания столкновений полёт БЛА сопровождается закрытием воздушного пространства для других участников движения, а это приводит к простоя парка и невозможности выполнения работ другими участниками рынка.

На текущий момент затраты на элементы и компоненты, применяемые в БЛА (источники питания, автопилоты, двигатели), остаются высокими, что обусловлено мелкосерийностью их производства и повышенными требованиями к техническим и эксплуатационным характеристикам. Это приводит к высокой стоимости производства любого коммерчески применимого БЛА в общем и целом. Существующие образцы автомобильного

транспорта на текущий момент имеют более рациональную экономику, чем БЛА. Отметим также, что для широкого использования БЛА требуется создавать наземную инфраструктуру, что негативно скажется на стоимости услуг по доставке.

К технологическим барьерам следует отнести недостаточную автономность управления существующих БЛА. Современные аппараты могут совершать полёты с применением систем спутниковой навигации по заранее заложенной программе и могут использовать элементы технического зрения для автоматизации отдельных этапов полёта (взлёт-посадка), однако БЛА, которые будут функционировать в общем воздушном пространстве, должны иметь систему управления с элементами искусственного интеллекта.

Искусственный интеллект на борту должен анализировать различные нестандартные ситуации и выдавать команды управления. Например, искусственный интеллект может решать задачу предотвращения столкновений с движущимися объектами или выбирать оптимальные места посадки по критерию минимальной вероятности возникновения аварийной ситуации. Целесообразно устанавливать на БЛА системы управления, положение БЛА в которых определяется не только при помощи

систем спутниковой навигации. Такие системы управления в настоящее время создаются и реализованы на беспилотных автомобилях, но их масса-габаритные характеристики не позволяют установить их на существующие БЛА.

На сегодняшний день также отсутствует техническое решение, которое бы обеспечило безопасность совместных полётов пилотируемых и беспилотных воздушных судов в неконтролируемом пространстве класса G.

Резюмируя, можно выделить список критических технологий и задач:

- повышение уровня автономности управления БЛА;
- технологии точной посадки;
- безопасность окружающих людей и имущества, сохранность БЛА и груза в процессе доставки;
- предотвращение столкновений в процессе полёта;
- разработка навигационных систем, основанных на технологиях не только спутниковой навигации. Разработка альтернативных систем навигации;

- системы интеграции БЛА в общее воздушное пространство — включение в перечень бортового оборудования ADS-B;
- повышение уровня надёжности узлов и агрегатов БЛА.

К техноэкономическим барьерам также стоит отнести исчезающе малую долю отечественных комплектующих, используемых на современных российских БЛА, что расходится с политикой «импортозамещения». В ближайшие пять лет создание элементной базы, сопоставимой по характеристикам с иностранной, маловероятно. БЛА являются уязвимыми перед технологическими санкциями, которые могут быть наложены на их производителей и эксплуатантов.

Для широкого внедрения систем доставки грузов при помощи БЛА необходимо сформировать в обществе доверие к новой технологии. На текущем этапе такие попытки предпринимаются зарубежными и отечественными компаниями и государственными учреждениями. В частности, Лаборатория робототехники Сбербанка провела ряд экспериментов по доставке наличных денег в удаленные районы с помощью БПЛА.

Наиболее перспективные направления применения транспортных беспилотных авиационных систем

В результате проведённого анализа выделяются два направления для более детальной проработки возможностей по использованию беспилотных авиационных систем для доставки грузов:

- массовый сегмент (доставка отправок из интернет-магазинов). Этот рынок имеет большой объём с точки зрения количества доставок, БЛА могут занять на нём сегмент срочных доставок, для которых стоимость в среднем оказывается выше, чем для обычных;
- доставка грузов в интересах организаций топливно-энергетического комплекса и финансовых организаций. Как было показано выше, наблюдается дефицит лётного состава с одновременно высокой стоимостью лётного часа (75 000 руб. для вертолёта класса Ми-8 и 28 000 руб. для вертолёта класса *Robinson R-44*). При таких стоимостных показателях доставка при помощи БЛА может оказаться оправданной.

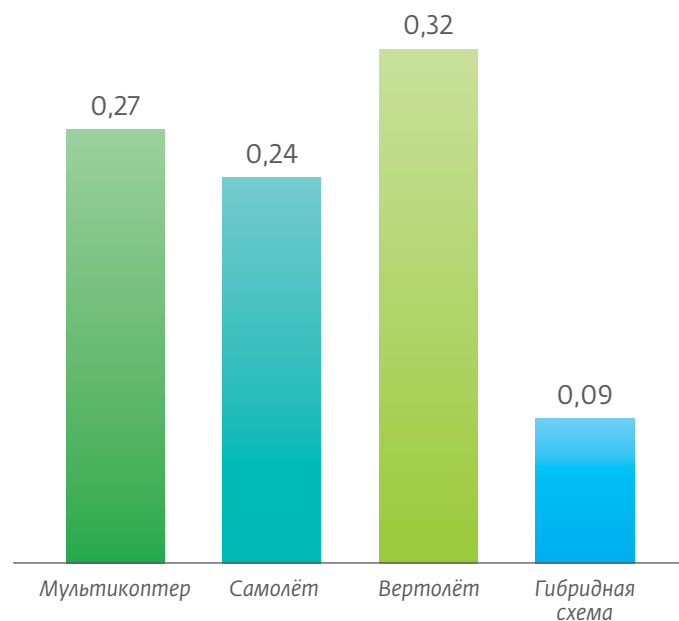
В Лаборатории робототехники Сбербанка был проведён ряд исследований указанных направлений для оценки целесообразности доставки грузов, приведём далее некоторые результаты.

Выбор рационального типа БЛА. По результатам всех проведённых исследований можно выделить типы БЛА, применение которых является рациональным в определённых условиях:

- мультикоптеры для задач доставки грузов массой до 5 кг на расстояние до 30 км;
- гибридные БЛА с вертикальным взлётом и посадкой для задач доставки грузов массой до 10 кг на дальности до 250 км;
- БЛА вертолётного типа для перевозки грузов от 10 кг на дальности до 250 км;
- самолёт, в случае, когда не предъявляется требований по типу старта БЛА.

Тем не менее при выборе рационального типа БЛА нужно исходить из условий конкретной задачи и в обязательном порядке учитывать такие параметры, как, например, критерий топливной эффективности, проектная и относительная масса полезной нагрузки. Значение относительной массы полезной нагрузки для различных типов БЛА представлены на рисунке 113.

Рисунок 113. Относительная масса полезной нагрузки для различных типов БЛА



Источник: Лаборатория робототехники Сбербанка

Наибольшим значением относительной массы полезной нагрузки обладает БЛА, выполненный по вертолётной схеме. Наименьшим значением аппараты — гибридного типа. Это вызвано необходимостью размещения на борту БЛА дополнительной двигательной установки, необходимой для совершения взлёта и посадки.

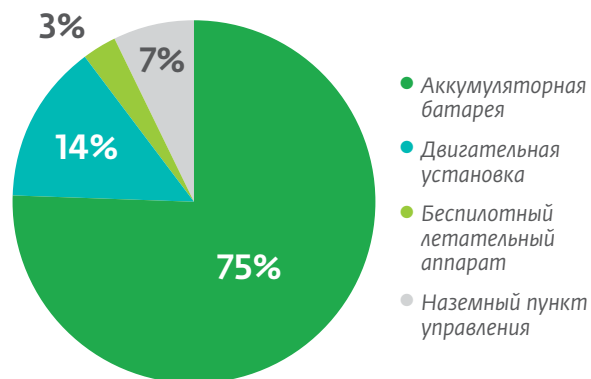
Пример расчёта стоимости вылета БЛА

Рассмотрим систему доставки отправок из интернет-магазинов, состоящую из логистического центра, парка БЛА и пункта управления с оператором (человеком), который следит за положением БЛА и осуществляет контроль высокоточной посадки. Предполагается, что пункт управления обеспечивает в полуавтоматическом режиме контроль за парком БЛА на всех этапах выполнения полётного задания, но может передавать возможность управления БЛА оператору в нестандартных ситуациях.

Расчёт стоимости вылета БЛА выполнялся на основе более 20 параметров, которые характеризуют рынок, стоимостные характеристики элементов системы доставки, эксплуатационные параметры системы доставки, основные экономические показатели и временные характеристики модели. Приведём некоторые из них.

- Тип БЛА: мультикоптер
- Стоимость БЛА: 500 000 руб.
- Масса полезной нагрузки: 5 кг
- Длительность полёта: 30 мин
- Зарботная плата оператора: 60 000 руб./месяц

Рисунок 114. Структура цены одного вылета БЛА типа «мультикоптер»



Источник: Лаборатория робототехники Сбербанка

По результатам расчёта отметим, что стоимость доставки груза при помощи БЛА приближается к стоимости доставки грузов транспортной компанией при числе вылетов на один БЛА более 8000 в год или 22 вылета в день. При меньшем числе вылетов доставка груза при помощи БЛА может оказаться экономически нецелесообразной.

Если рассмотреть структуру цены одного вылета БЛА из расчёта совершения им 8000 вылетов в год, получится, что 75% стоимости формирует аккумуляторная батарея, 15% — двигательная установка. Это связано с недостаточными

ресурсными показателями элементов БЛА. Вклад наземного пункта управления и БЛА в цену одного вылета составляют лишь 10%.

Таким образом, основной вклад в формирование стоимости вносят аккумуляторные батареи и двигательные установки. Снижение стоимости возможно за счёт преодоления указанных нами барьеров, в частности, качественного технологического скачка в увеличении ресурсных показателей или снижения стоимости комплектующих.

Также отметим, что надёжность БЛА на современном этапе достаточно низкая, практика показывает, что налёт на отказ, приводящий к выходу гражданского БЛА мультироторного типа из строя, может составлять 100–200 часов или 200–400 полетов. Таким образом показатель в 8000 вылетов в год является трудно достижимым.

Пример расчёта затрат на эксплуатацию БЛА в течение жизненного цикла

Рассмотрим другой пример — задачу перевозки банковских ценностей с системой доставки, состоящей из логистического центра, парка БЛА и пункта управления с оператором (человеком).

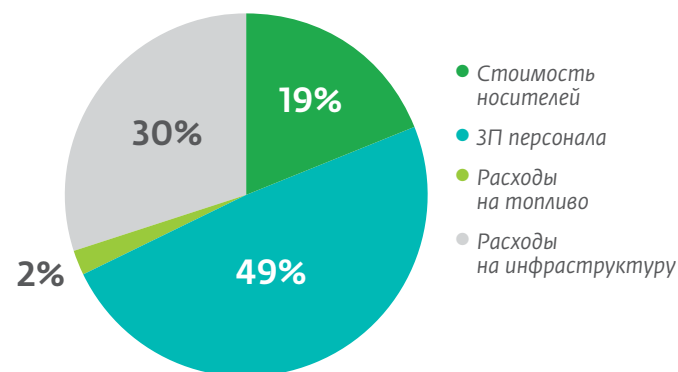
Важное отличие от предыдущего примера — выбор БЛА вертолётного типа вместо мультикоптера, что влечёт за собой значительное изменение параметров, например, инфраструктуры, количества обслуживающего персонала, увеличение стоимости БЛА, массы полезной нагрузки и длительности полёта.

В расчёте затрат на эксплуатацию БЛА в течение жизненного цикла учитывалось более 20 параметров: стоимость и характеристики БЛА, инфраструктурных элементов, стоимостные параметры эксплуатации и характеристики транспортной сети. Приведём некоторые параметры.

- БЛА вертолётного типа
- Стоимость БЛА: 5 000 000 рублей
- Масса полезной нагрузки: 10 кг
- Длительность полёта: 6 часов
- Количество вылетов БЛА в день: 6
- Зарботная плата оператора: 70 000 руб./месяц
- Зарботная плата техника: 70 000 руб./месяц

Результаты расчёта стоимости эксплуатации БЛА вертолётного типа демонстрируют следующее распределение затрат в среднесрочной перспективе (рисунок 115). Учитывая более низкую стоимость БЛА по сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами, основной статьёй расходов становится оплата труда

Рисунок 115. Процентное соотношение затрат на эксплуатацию БЛА вертолётного типа в течение 2 лет



Источник: Лаборатория робототехники Сбербанка

операторов, второй значимой статьёй расходов становится создание и эксплуатация наземной инфраструктуры.

Подводя итог, отметим, что на текущий момент стоимость доставки грузов с применением БЛА часто выше, чем с применением традиционных средств. Эта ситуация может оставаться без улучшений, если не будет приложено достаточно усилий для преодоления вышеперечисленных барьеров: недостатки нормативной базы, недостаточной автономности полёта и навигации, нехватки отечественной компонентной базы и отсутствия наземной инфраструктуры.

116. Полет беспилотного вертолёта во время экспериментов по доставке материальных ценностей



Источник: Лаборатория робототехники Сбербанка

В ноябре 2018 года Сбербанк успешно провел первый этап создания экспериментальной зоны беспилотной доставки материальных ценностей.

- Цель эксперимента — оценка эффективности и безопасности применения БЛА для доставки материальных ценностей
- Тип БЛА — беспилотный вертолёт с двигателем внутреннего сгорания (предоставлен АО «НПП «Радар ММС»)
- Перевозимый груз — наличные деньги в сертифицированном спецконтейнере
- Место проведения — Самарская область
- Общее количество выполненных полётов — 8 в течение двух дней
- Общая протяжённость маршрута — 22,5 км
- Среднее время доставки — 1 час на рейс, 17 минут полёта
- Суммарная дальность полётов — 64 км
- Суммарная масса перевезённых грузов — 72 кг

Эффективность и безопасность применения экспериментальных образцов промышленных экзоскелетов

Активно занимаясь вопросами применения промышленных экзоскелетов, сотрудники Лаборатории робототехники Сбербанка провели научно-исследовательскую работу совместно с НИИ медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова. Целью научно-исследовательской работы стало изучение безопасности и эффективности применения нескольких экспериментальных образцов промышленных экзоскелетов:

- 01.** для нижней части тела — для поддержки ног при работе в статичных позах;
- 02.** для спины — для поддержки позвоночника при подъёме тяжестей с пола.

В качестве условий были смоделированы элементы деятельности людей, которые занимаются тяжёлым физическим трудом. Дополнительно проводилась оценка условий труда на рабочих местах, а также исследование рабочих поз и движений работников. Эта научная работа станет основой для публикации ряда научных статей и дальнейших исследований, однако мы приведём здесь часть результатов.

По данным государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году»^{*}, выделяются следующие факторы, оказывающие влияние на профессиональную заболеваемость:

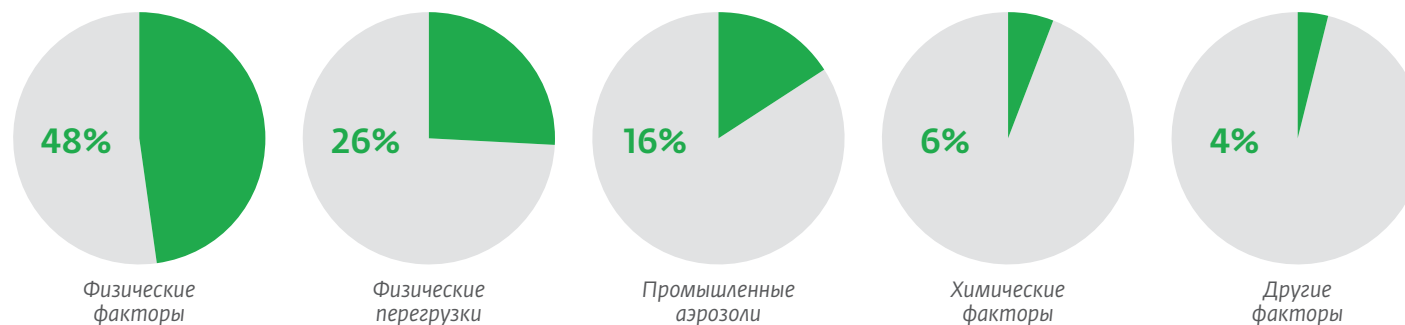
- 01.** физические факторы;
- 02.** физические перегрузки;
- 03.** промышленные аэрозоли;
- 04.** химические факторы;
- 05.** другие факторы.

Значения показателей фактора тяжести трудового процесса, которые превышают допустимые величины могут способствовать развитию заболеваний опорно-двигательного аппарата.

^{*} https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=10145

Рисунок 117. Факторы, оказывающие влияние на профессиональную заболеваемость

По данным Государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 г.»



Источник: Роспотребнадзор

Для исследования тяжести трудового процесса применялся ряд инструментальных методов:

- эргоспирометрия — позволяет регистрировать энерготраты работника, а также показатели состояния кардиореспираторной системы;
- миотонография + ЭМГ — позволяет оценить тонус и биоэлектрическую активность мышц;
- динамометрия — позволяет оценить силу работника;
- захват движений — позволяет оценить объём движений в суставах.

Также в ходе исследования проводился ряд функциональных проб:

- проба Серкина — для оценки дыхательной системы работника;
- PWC170 — для оценки физической работоспособности;
- определение ЖЕЛ — для оценки функционального состояния дыхательной системы;
- пробу Руфье-Диксона — для оценки функционального состояния кардиореспираторной системы.

В ходе исследования были проведены две серии моделирования рабочих операций — с применением экзоскелетов и без. После чего сравнивались изменения параметров у испытуемых.

После моделирования рабочих операций с применением промышленного экзоскелета для нижней части тела у испытуемых было выявлено:

- снижение уровня болевых ощущений в шейном и поясничном отделах позвоночника, что положительно сказалось на функциональном состоянии и работоспособности;
- снижение уровня энерготрат;
- уменьшение нагрузки на некоторые мышцы спины и бёдер, участвующие в поддержании рабочих поз и выполнении рабочих движений.

После моделирования рабочих операций с применением промышленного экзоскелета для спины у испытуемых было выявлено:

- снижение уровня болевых ощущений в кистях, предплечьях и поясничном отделе позвоночника;

- перераспределение нагрузки с мышц спины на мышцы рук. Это несомненный плюс, так как спина сильнее подвержена травмам и заболеваниям по сравнению с руками;
- снижение нагрузки на грудную часть мышцы, выпрямляющей позвоночник.

Результаты показали, что применение выбранных промышленных экзоскелетов является безопасным и эффективным, так как снижает физиологическую стоимость работы (выполнения операций). Отметим, что перед применением экзоскелетов требуется проведение инструктажа и тренировок работы с его применением в присутствии представителей разработчика и специалиста по охране труда.

В заключение добавим, что выводы о безопасности и эффективности применения для конкретного рабочего места целесообразно формировать самостоятельно, с учётом результатов вышеупомянутой научно-исследовательской работы, технической документации на производственное оборудование, используемое работником на рабочем месте, технологической документации, характеристик технологического процесса, должностной инструкции, регламентирующей обязанности работника, а также наличия вредных и (или) опасных факторов производственной среды.

118. Промышленный
экзоскелет EgoAtlant

Источник: <https://karfidovlab.com>

119.
Промышленный
экзоскелет AWN-03

Источник:
<https://exoskeletonreport.com>

120.
Промышленный
экзоскелет EgoChair

Источник: <https://karfidovlab.com>



118

119



Мнения экспертов

За перспективами развития российского рынка робототехники следят не только отечественные игроки, но и международные эксперты. Мы попросили некоторых из них ответить на вопросы, что эксперты думают о текущей степени зрелости рынка и о перспективах его развития. По общему экспертному мнению, российский рынок является перспективным, располагающим профессиональными инженерными кадрами и низкой базой роботизации в подавляющем большинстве отраслей.



Andra Keay
Управляющий директор
Silicon Valley Robotics

На текущий момент мне мало известно про российские робототехнические компании. За исключением, может быть, *MontyCafe* и *Promobot*. Обычно я фокусируюсь на робототехнических компаниях на ранней стадии развития. Многие из стартапов, о которых я знаю, перестают заниматься бизнесом пару лет спустя. Даже если в целом индустрия робототехники начинает

действительно расти. В России много отличных ученых и инженеров и дух предпринимательства в целом силен. Но иногда стартапы слишком много внимания уделяют тому, чтобы с самого начала выйти на глобальный рынок. Это приводит к тому, что российские роботы не подходят ни для одного рынка. Я хотела бы видеть больше роботов, разработанных для российских рынков и клиентов.



Gudrun Litzenger
Бывший генеральный
секретарь IFR

Потенциал для внедрения роботов в России огромен. В стране имеется большой и всё ещё растущий внутренний рынок потребительских товаров. Существует высокий спрос на обновление производственных мощностей, а также на инвестиции в новые производственные мощности. Плотность роботов в производстве в России составляет всего три робота на 10 000 человек, занятых в производстве. Правительство способствует автоматизации и модернизации производства. Министерство промышленности России запустило программу цифровизации промышленности в 2017 году. Благодаря Фонду развития промышленности будет поддерживаться внедрение промышленных роботов в производство.

Автомобильная индустрия останется драйвером внедрения роботов на производстве. Другие отрасли, особенно металлургическая, продолжают модернизацию производства с использованием решений для автоматизации. Однако отсутствие достаточного количества системных интеграторов на рынке может препятствовать росту количества установленных роботов во всех секторах, помимо автомобильного.

Растущие меры, предпринимаемые правительством, инициативы национальных робототехнических кластеров, увеличение количества стартапов, исследовательские проекты в области робототехники и деятельность НАУРР будут способствовать развитию рынка робототехники в России.



Gary Bradsky
CEO Arraiy

Как я уже говорил ранее, я думаю, что для России существует ряд естественных задач, решение которых будет более эффективным при применении роботов.

Прежде всего большая территория и сравнительно низкая плотность населения. Так давайте развивать роботизированное сельское хозяйство. Автономные

тракторы, автоматизированную прополку и механизированную борьбу с вредителями.

Ольга Ускова из компании *Cognitive* говорит, что большинство дорог в мире так же плохи, как и российские, и здесь автономные автомобили учатся работать в таких условиях. Я бы скорее занялся улучшением условий. Могу предположить, ничто не подстегнуло бы российскую экономику так, как обустройство большего количества качественных дорог. Как насчет роботов для строительства и обслуживания дорожной системы?

Я также считаю, что существует большой потенциал для развития горнодобывающих роботов. Добыча многих минеральных ресурсов экономически невыгодна, так как большинство месторождений либо недостаточно крупные, либо недостаточно богатые, что делает применение крупногабаритного добывающего оборудования необоснованным. Но если бы у нас были более дешёвые, в основном самообслуживаемые роботы, для которых не требуются крупные и дорогие тоннели, они могли бы осуществлять разработку таких месторождений.

Ещё мне видится потенциал в развитии внедорожных роботов и дронов для мониторинга инфраструктуры, протяжённых трубопроводов, дорожной сети и удаленных объектов. Автономные наземные и воздушные роботы были бы очень полезны для таких задач.

Автономные наземные ТС



Домашняя робототехника



Ассистивная робототехника и промышленные экзоскелеты



Логистическая робототехника



БПЛА (эксплуатанты)



Роботы для коммерческого пространства



Сельскохозяйственная робототехника



БПЛА (производители)

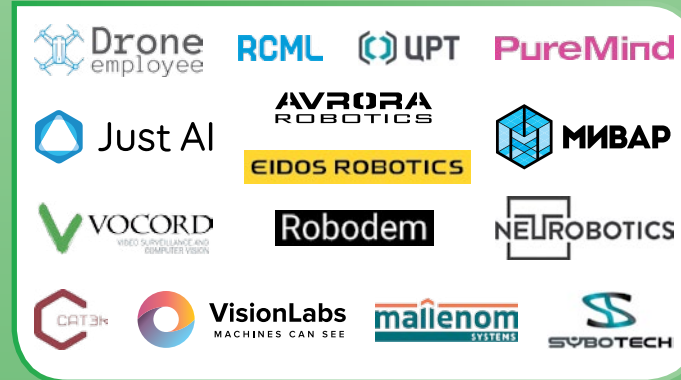


Источник: лаборатория робототехники Сбербанка

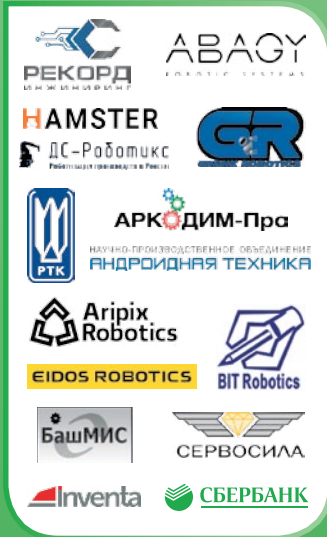
Компоненты для робототехники (аппаратное обеспечение)



Компоненты для робототехники (софт)



Промышленная робототехника



Образовательная робототехника



Медицинская и реабилитационная робототехника



Специального назначения и военного применения



Подводная робототехника





05

Искусственный интеллект в робототехнике



Материал подготовлен
совместно с Управлением
развития компетенций
по исследованию данных
ПАО Сбербанк.

1. Обзор и эволюция использования ИИ в робототехнике	171
1.1. Возникновение и зарождение ИИ и робототехники: первые совместные попытки создания интеллектуальных роботов.....	171
1.2. Разделение сфер ИИ и робототехники.....	173
1.3. Синергия ИИ и робототехники.....	174
2. Технологии ИИ	175
2.1. Определение искусственного интеллекта.....	175
2.2. Компьютерное зрение (CV, <i>Computer vision</i>).....	180
2.2.1. Детектирование объектов на изображениях и в видео.....	181
2.2.2. Трекинг объектов.....	183
2.2.3. Сегментация изображений.....	184
2.2.4. Оценка глубины (расстояния).....	185
2.3. Обработка естественного языка (NLP, <i>Natural language processing</i>).....	186
2.4. Речевая аналитика (SA, <i>Speech analytics</i>).....	187
2.5. Принятие решений\Автоматизация процессов (<i>Reasoning</i>).....	188
2.5.1. Навигация и обход препятствий.....	188
2.5.2. <i>Training-by-demonstration</i>	189
2.5.3. Эмоциональное взаимодействие.....	191
2.5.4. Автоматизация машинного обучения для решения задач без программирования.....	191
2.6. Рекомендательные системы (<i>Recommender systems</i>).....	192

3. Реализованные кейсы применения ИИ в робототехнике	193
3.1. Самоуправляемые автомобили.....	194
3.2. Промышленные роботы.....	196
3.3. Кухонные роботы (<i>kitchen robots</i>).....	197
3.4. Исследовательские кейсы.....	197
3.5. Примеры проектов Лаборатории робототехники Сбербанка с применением технологий ИИ.....	199
4. Обзор компаний, которые занимаются исследованием и развитием ИИ в робототехнике, их классификация	204
5. Перспективные направления развития ИИ в робототехнике	207
5.1. Долгосрочное видение.....	207
5.1.1. Доступное всем решение задач слабого ИИ.....	207
5.1.2. Больше автономности.....	209
5.1.3. Ускорение самообучения.....	209
5.1.4. Социальный интеллект.....	209
5.1.5. Высококвалифицированные навыки.....	210
5.2. Краткосрочное видение.....	211
5.2.1. Манипуляция над объектами.....	211
5.2.2. Мобильность роботов для эффективной работы в нестандартных условиях.....	211
5.2.3. Естественное взаимодействие с роботами с помощью речи и жестов.....	212
5.2.4. Упрощение программирования.....	212

1. Обзор и эволюция использования ИИ в робототехнике

1.1. Возникновение и зарождение ИИ и робототехники: первые совместные попытки создания интеллектуальных роботов

Рост количества данных, вычислительных мощностей и уровня сложности задач стимулирует исследования и разработки в области искусственного интеллекта, а робототехника даёт возможность применения не только в цифровом, но и в реальном мире.

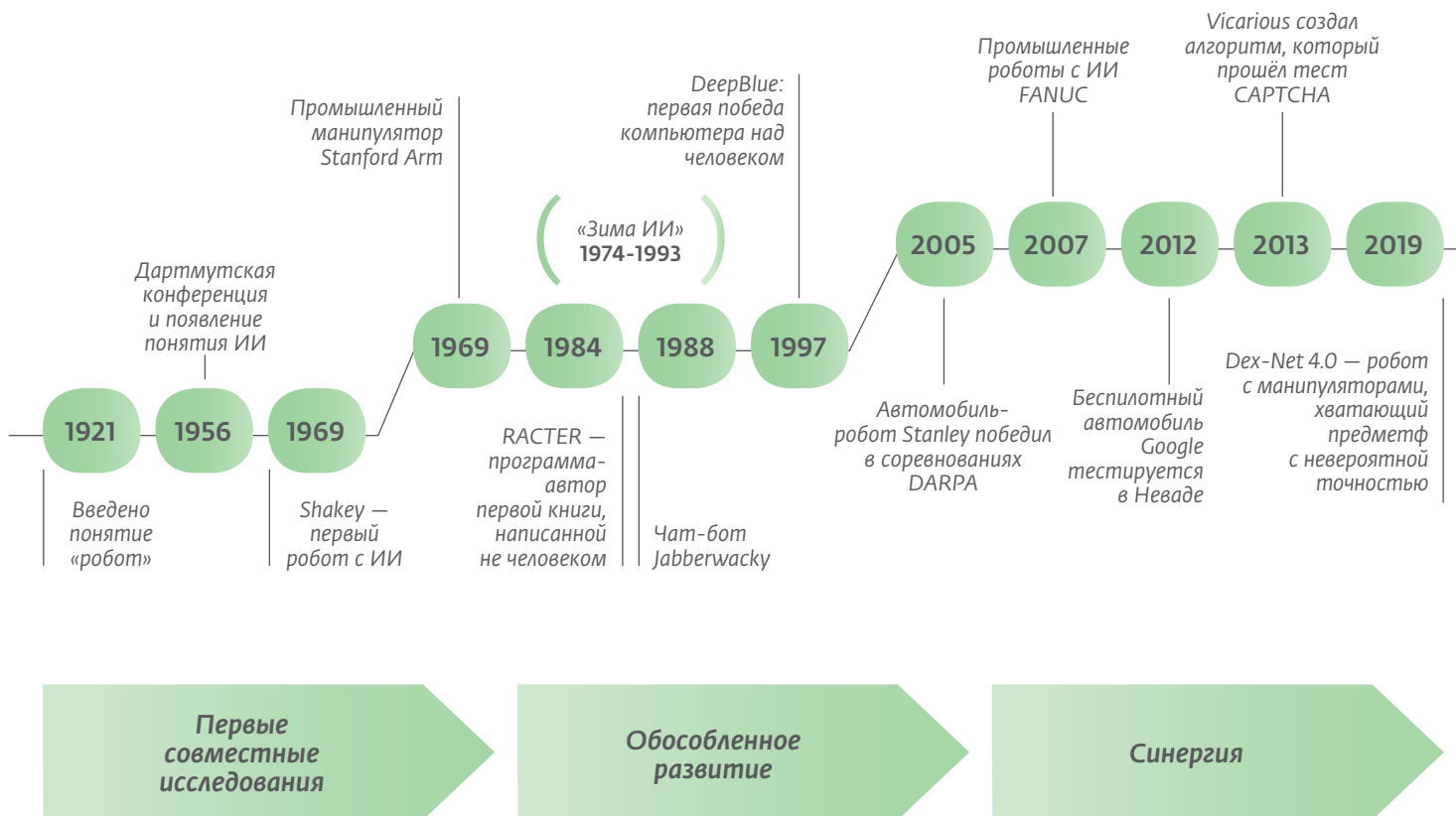
Создание интеллектуальных роботов (*embodied intelligent systems*) ассоциируется в основном с научными достижениями и идеями XX и XXI веков. Именно тогда и возникли понятия «робот» (1921 г.) и «искусственный интеллект» (1956 г.).

Изначально у исследователей отсутствовало чёткое разделение целей ИИ и робототехники. В конце

1950-х сразу после введения понятия ИИ в рамках Дартмутской конференции было положено начало развитию компьютерной техники и, в частности, ИИ-решений. Именно тогда на ранних стадиях развития ИИ исследователи уже понимали, что владение большим объемом данных недостаточно — нужно, чтобы ИИ мог трансформировать их в знания, которые можно формализовать, накопить и передать, а также использовать⁸⁸.

Одна из первых попыток создания «умной машины» была инициирована Центром искусственного интеллекта при Стэнфордском исследовательском институте (*SRI International*). Робот *Shakey* был создан в 60-х годах и являлся первым мобильным роботом со способностью анализировать свои действия и первой системой, объединившей программное обеспечение с ИИ и физическое аппаратное обеспечение. К сожалению, робот мог нормально работать только в искусственно созданном испытательном пространстве, а на полное решение элементарной задачи у него уходило более часа. Этот и другие эксперименты по созданию интеллектуальных роботов не оправдывали ожиданий исследователей. Это побудило исследователей сконцентрировать усилия на достижении прогресса по дисциплинам ИИ и робототехника отдельно⁸⁹.

Рисунок 121. Основные этапы развития ИИ и робототехники



1.2. Разделение сфер ИИ и робототехники

В результате начиная с 1960-х ИИ и робототехника стали развиваться в разных направлениях обособленно. Сами подходы к исследованиям были противоположны. Исследователи в области ИИ руководствовались «нисходящим» (*top-down*) подходом, почти не связывая цели разработок с реальным применением. Исследования не были направлены на практическую реализацию автоматизации решений, предполагая, что формального математического описания задачи достаточно и её решение может определить действия ИИ в физическом мире. Также в исследованиях принимали активное участие представители других научных областей, например психологии и биологии, что предопределило концентрацию усилий на теоретических когнитивных аспектах. Данная тенденция привела к десятилетиям сугубо теоретического ИИ.

Исследователи в области робототехники, наоборот, использовали преимущественно «восходящий» (*bottom-up*) подход, в основном игнорируя абстрактные аспекты и сосредотачиваясь вместо этого на практической реализации. Таким образом, каждая из дисциплин была сосредоточена на собственных проблемах и методах⁸⁹. Четкое разделение между

дисциплинами особенно можно заметить в 1960-е и 1970-е, когда робототехника становится более ориентированной на промышленную автоматизацию.

Среди примеров — Стэнфордская рука (*Stanford Arm*) — манипулятор, разработанный профессором Шейманом в 1969 г. и ориентированный на промышленное применение. Стэнфордская рука Шеймана способна осуществлять сборку деталей малого размера за счёт системы обратной связи, использующей датчики соприкосновения. Спустя пять лет в 1974 г. он создает компанию *Vicarm Inc.* для торговли манипуляторами⁹⁰.

В это время в сфере ИИ учёным так и не удалось совершить существенных прорывов — разрабатывались основные положения и алгоритмы искусственного интеллекта, до реальных же продуктов было далеко, прогресс шел крайне медленно, что рассеивало усилия исследователей⁹¹. Таким образом, в области ИИ настал период, связанный с сокращением финансирования и общим снижением интереса к исследованиям. Период получил название «зима ИИ» (выделяют две длительные «зимы»: 1974–1980 и 1987–1993).

Однако даже в этот период имели место научные достижения. Например, в 1980-х началась разработка первого чат-бота с искусственным

интеллектом, запуск его, правда, состоялся позднее. *Jabberwacky* стал первым ботом, который имитировал развлекательный разговор: он запоминал информацию от пользователя и затем обращался к ней с помощью метода контекстных шаблонов⁹². А в 1984 г. компьютерная программа *RACTER* Уильяма Чемберлена (*William Chamberlain*) становится автором первой книги, написанной не человеком⁹³.

Окончательно «зиме» положила конец первая победа компьютера над действующим чемпионом мира по шахматам в турнирных условиях — в 1997 г. *DeepBlue* от IBM обыграл Гарри Каспарова⁹¹. Таким образом, основные достижения этого периода, а также расцвет исследований ИИ в дальнейшие несколько лет были обусловлены прикладным применением, основанным на математическом подходе и компьютерных технологиях.

1.3. Синергия ИИ и робототехники

Начиная с 2000-х годов появилась необходимость повсеместного внедрения «умных» роботов в производство, сферу обслуживания, уход за больными и т. д. Все больше сфер жизни начинают применение роботов с ИИ. Так, например, интеграция разработок находит отражение в таких проектах, как автомобиль-робот *Stanley*, созданный

командой из Стэнфордского Университета (2005 г.), и промышленные роботы с ИИ от *FANUC*, впервые появившиеся в 2007 г., а в 2017 г. первый робот уже начал помогать на кухне в одном из ресторанов *CaliBurger* в Пасадене (Калифорния, США)⁹⁴.

Также большое внимание уделяется созданию робомощников. Например, в январе 2019 г. компания *Samsung Electronics* представила семейство роботов *Samsung Bots*, призванных решать различные задачи в области здравоохранения, экологии и повседневной жизни людей. Среди которых, например, *Samsung Bot Care* — робот, который заботится о здоровье пользователей. Он способен измерять артериальное давление, частоту сердечных сокращений, частоту дыхания и многое другое, а также может предупреждать о необходимости приёма лекарств.

Более детально сферы применения, а также основные наработки с технической детализацией последних лет представлены в следующих разделах.

Таким образом, с начала нового тысячелетия наблюдается рост спроса на более универсальных роботов, которые многозадачны и способны действовать в произвольных средах — требования и ожидания от роботов как никогда высоки. Особенно требования касаются их когнитивных способностей, таких как обучение, адаптация

и естественное взаимодействие с человеком, которые находились в центре внимания ИИ-исследований в течение последних 60 лет.

Именно это и стало причиной возобновления интереса к объединению двух дисциплин, а рост мощности компьютеров и мобильных устройств сделал это возможным. Начиная с 2010-х можно заметить ярко выраженную тенденцию к интеграции разработок искусственного интеллекта и робототехники (*integrated AI and Robotics*).



Почему сейчас?

Основными драйверами такой тенденции являются:

- 01.** экспоненциальный рост доступных данных;
- 02.** стремительное развитие методов машинного обучения, в том числе прикладных исследований;
- 03.** прогресс вычислительных мощностей и аппаратного обеспечения — возможность создания всё более ёмких устройств с большей производительностью;
- 04.** большой объём наработок прошлых поколений: исследователи имеют возможность переиспользовать множество успешно применённых техник и методов при решении новых задач⁸⁹.

Таким образом, сейчас актуальны первоначальные цели по созданию интеллектуальных роботов. С этим связано возникновение когнитивной робототехники, которая подразумевает вовлечение в исследования представителей различных дисциплин, в первую очередь таких как психология и биология, как это происходило в ранние периоды развития ИИ.

2. Технологии ИИ

2.1. Определение искусственного интеллекта

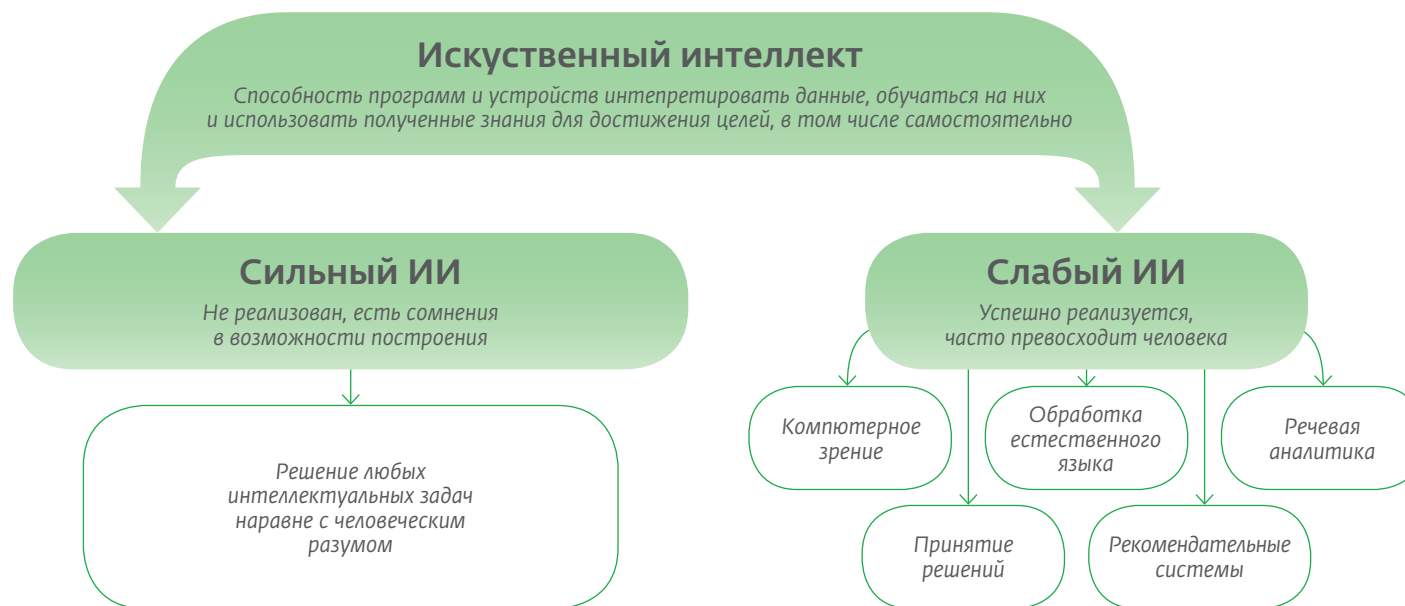
Перед тем как обсуждать применение технологий ИИ в робототехнике необходимо определиться, что можно считать искусственным интеллектом.

К сожалению, в научном мире не существует общепринятого определения. Причем, если с концепцией «искусственности» можно интуитивно понять, что имеется в виду не природный, сделанный наподобие подлинного⁹⁵. То понятие «интеллект», *intelligence* не является интуитивным, более того различные науки определяют его с точки зрения различных аспектов. Для математиков и специалистов в области компьютерных наук важным является

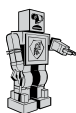
Таблица 7. Определения интеллекта

№	Определение	Источник
1	Общая способность к познанию и решению проблем	Новый словарь методических терминов и понятий, 2009
2	Совокупность нескольких функций — комбинация способностей, необходимых для выживания и развития в определённой культуре	A. Anastasi. What counselors should know about the use and interpretation of psychological tests, 1992
3	Способность использовать память, знания, опыт, понимание, рассуждение, воображение и суждение для решения проблем и адаптации к новым ситуациям	AllWords Dictionary, 2006
4	Лежит в основе нашей способности мыслить, решать новые проблемы, и познавать мир	M. Anderson. MS Encarta online encyclopedia, 2006
5	Способность системы действовать соответствующим образом в неопределённой среде, где соответствующие действия — это то, что увеличивает вероятность успеха, а успех — это достижение поведенческих подцелей, которые поддерживают конечную цель системы	J. S. Albus. Outline for a theory of intelligence
6	Любая система, которая генерирует адаптивное поведение для достижения целей в различных средах	D. B. Fogel. Review of computational intelligence: Imitating life.
7	Системы, которые демонстрируют интеллектуальное поведение — анализируя окружающую среду и принимая действия — с определённой степенью автономии для достижения конкретных целей	Communication Artificial Intelligence for Europe
8	Способность систем корректно интерпретировать данные, обучаться на них и использовать полученные знания для достижения целей, в том числе самостоятельно	Kaplan and Haenlein, 2011
9	Мера способности агента достигать целей в широком диапазоне сред	Shane Legg, Marcus Hutter. A Collection of Definitions of Intelligence, 2007
10	Вычислительная составляющая способности достигать целей в окружающем мире	Джон Маккарти, 2004

Рисунок 122. Определение ИИ, сильный и слабый ИИ



аспект, связанный с формальными моделями и алгоритмами. Для психологов важны вопросы феномена сознания, лингвисты концентрируются на коммуникационных аспектах. Рассмотрев более 70 определений интеллекта в своей работе⁹⁶, авторы пришли к выводу, что интеллект — это:



- свойство, которое имеет отдельный агент при взаимодействии со средой или средами (восприятие среды);

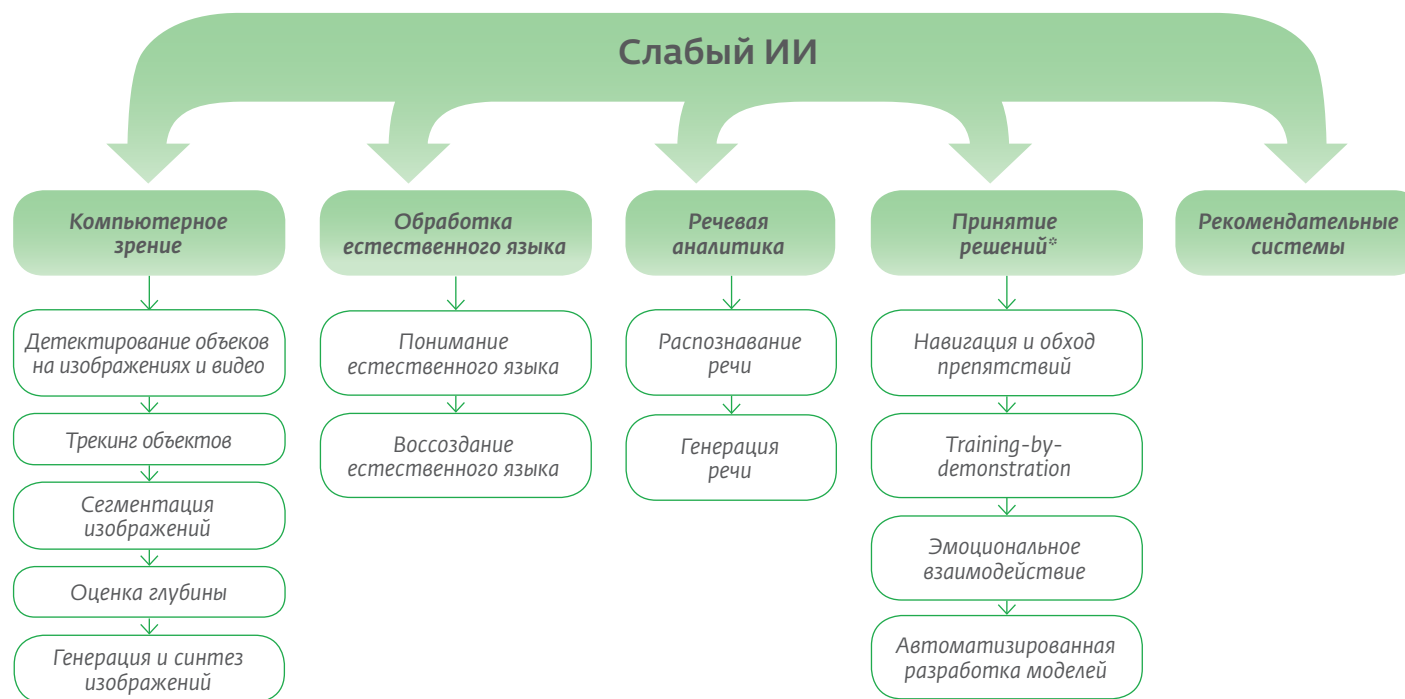
Список сокращений

- LSTM** — *long short term memory* (долгая краткосрочная память) нейросеть
- RNN** — *recurrent neural network*, рекуррентная нейросеть
- CNN** — *convolution neural network*, свёрточная нейросеть
- CV** — *computer vision*, компьютерное зрение
- NLP** — *natural language processing*, обработка естественного языка
- SA** — *speech analytics*, речевая аналитика
- RL** — *reinforcement learning*, обучение с подкреплением

Таблица 8. Технологии ИИ и их применение в робототехнике

Технология ИИ	Описание, базовые задачи	Примеры методов	Применение в робототехнике
Компьютерное зрение (CV)	Обработка визуальной информации для извлечения полезных знаний: <ul style="list-style-type: none"> • детектирование и трекинг объектов, • сегментация изображений, • оценка глубины, 3D-реконструкция 	<ul style="list-style-type: none"> • CNN • RNN 	Понимание сцены для принятия решений Распознавание эмоций Навигация Обучение навыкам Захват предметов Идентификация людей Управление беспилотным автомобилем
Обработка естественного языка (NLP)	Обработка или «понимание» естественного текстового языка общения людей — поддержка разговора	<ul style="list-style-type: none"> • RNN • LSTM • CNN 	Создание диалогового агента для взаимодействия с людьми
Речевая аналитика (SA)	Распознавание и синтез речи, определение тональности речи	<ul style="list-style-type: none"> • CNN • RNN 	Создание диалогового агента для взаимодействия с людьми
Принятие решение/ Автоматизация процессов (Reasoning)	Создание инструментов, посредством которых процессы выполняются без участия человека <ul style="list-style-type: none"> • Генерация, принятие, и поддержка в принятии решений • Экспертные системы 	<ul style="list-style-type: none"> • RNN • LSTM • Опора на технологии CV, NLP, SA 	Навигация и обход препятствий (локализация в пространстве, управление движением) Обучение робота через демонстрацию Эмоциональное взаимодействие Автоматизация машинного обучения для решения задач без программирования
Рекомендательные системы (Recommender Systems)	<ul style="list-style-type: none"> • Генерация рекомендаций на основе имеющейся информации 	<ul style="list-style-type: none"> • CNN • RNN • Matrix factorization 	Генерация рекомендаций покупателям сервисными роботами (продавцами, официантами)

Рисунок 123. Классификация базовых задач ИИ для робототехники*



- связан со способностью агента добиваться успеха или получать пользу относительно какой-либо цели или задачи (достижение целей);
- зависит от способности агента адаптироваться к различным целям и условиям (адаптация).

В итоге интеллект — это мера способности агента достигать целей в широком диапазоне сред.

Автор первого определения искусственного интеллекта Джон Маккарти, один из основателей *Stanford AI Lab*, определяет интеллект

* Приводятся задачи, имеющие применимость в робототехнике. В рамках принятия решений возможно решение и иных задач

как вычислительную составляющую способности достигать цели в окружающем мире.

Мы отобрали некоторые определения, чтобы показать их общие отличительные признаки (таблица 7).

Исходя из этих определений можно выделить общие признаки: достижение целей, восприятие среды, адаптация. Таким образом, искусственный интеллект — это способность программ и устройств интерпретировать данные, обучаться на них и использовать полученные знания для достижения целей, в том числе самостоятельно.

На сегодня не существует реализации искусственного интеллекта в широком смысле (сильном ИИ), т. е. в том, как мы его определили выше. Кроме того, есть обоснованные сомнения о возможности его реализации в принципе только на основе математического подхода без интеграции с когнитивистским и использования научных достижений биологии и психологии^{97,98}.

Поэтому в данном обзоре ИИ понимается в узком смысле — решение конкретных отдельных задач (достижение отдельных целей). Набор отдельных задач узкого ИИ решается с помощью технологий ИИ. Именно они получили в последнее время бурное развитие и внимание, в т. ч. бизнеса и государства, что обусловлено, во-первых,

развитием методов глубокого обучения (например, обучение многослойных нейросетей), а также ростом доступных вычислительных мощностей. Рассмотрим их далее подробнее.

Применяемая нами классификация технологий ИИ не означает, что задача узкого ИИ относится лишь к одному классу. Часто реальные задачи находятся на стыке технологий или задействуют несколько базовых задач слабого ИИ.

2.2. Компьютерное зрение (CV, Computer vision)

Описание технологии

Технологии компьютерного зрения означают обработку визуальной информации для извлечения полезных знаний. Эта технология уже находит широкое применение в робототехнике, тем не менее её потенциал ещё до конца не раскрыт. В компьютерное зрение входит множество задач: детектирование объектов, трекинг объектов, распознавание образов, сегментация, оценка глубины расстояния и др. Рассмотрим их подробнее в применении к робототехнике.

2.2.1. Детектирование объектов на изображениях и в видео

Описание задачи

Детектирование объектов на изображениях и в видео — базовая задача технологии компьютерного зрения. Она состоит в поиске и определении координат и размеров прямоугольников, которые наиболее плотно описывают местоположение интересующего объекта или объектов.

Методы решения

Долгое время задача решалась без использования нейросетей. Например, обнаружение лиц на изображениях с достаточной точностью и скоростью было реализовано в 2001 г.⁹⁹ Однако подобные методы могли находить объекты лишь в одном ракурсе. Именно применение многослойных сверточных сетей позволило решать задачу для изображений больших размеров быстро и качественно¹⁰⁰.

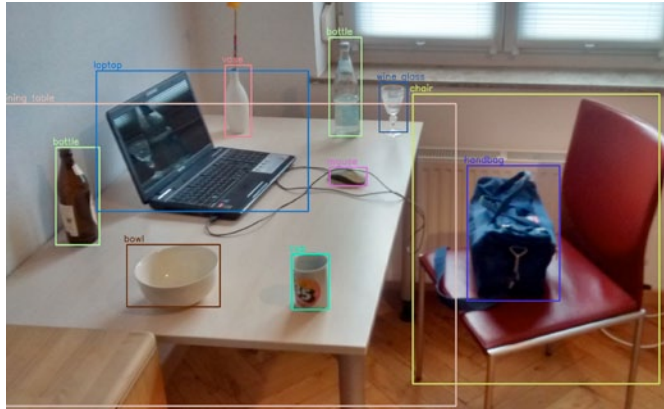
В рамках этой задачи также решается распознавание отдельных характеристик обнаруженных объектов, например, после обнаружения лица на изображении решается задача его распознавания и соотнесения с конкретным человеком. Таким образом, может быть осуществлена биометрическая идентификация.

Искусственная нейронная сеть — это математическая модель, сеть простых элементов, называемых искусственными нейронами, которые получают входные данные, изменяют своё внутреннее состояние (происходит активация) в соответствии с входным сигналом и выдают выходной сигнал. Сеть формируется путём соединения выхода некоторых нейронов со входом других нейронов, образуя направленный взвешенный граф. Как правило нейроны сети представляются слоям нейронов. При обучении сети происходит изменение весовых коэффициентов. Искусственная нейронная сеть похожа на работу биологических нейронов с входами и выходами, но не является их точной моделью.

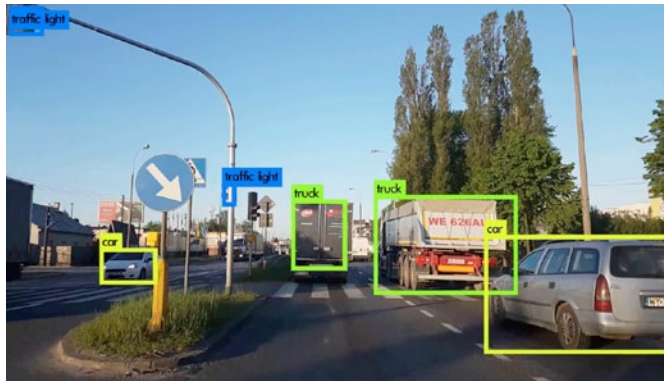
Применение в робототехнике

Как правило, результаты обнаружения объектов являются информацией, необходимой для систем принятия решений робота, задач понимания визуальной сцены перед роботом. Примеры — это задачи навигации, распознавания эмоций, обучение робота движениям и навыкам и т. п.

124. Примеры работы обнаружения объектов на изображениях



Источник: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Detected-with-YOLO--Schreibtisch-mit-Objekten.jpg>



Источник: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2018/06/understanding-building-object-detection-model-python/>

Свёрточная нейронная сеть — это вид искусственных нейросетей, в которых идёт чередование свёрточных (convolution) и субдискретизирующих (pooling) слоёв.

Особенно хорошо подходит для решения задач компьютерного зрения — распознавания образов. Свёрточный слой осуществляет операцию свёртки — каждый фрагмент изображения умножается на матрицу (ядро) свёртки поэлементно, а результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного изображения.

Субдискретизирующий слой, как видно из названия «уплотняет» изображение, снижая его разрешение и тем самым уплотняя обнаруживаемые признаки — происходит исключение деталей, повышается их абстрактность. Структура сети — однонаправленная (без обратных связей), многослойная.

2.2.2. Трекинг объектов

Описание задачи

Естественным развитием предыдущей задачи является трекинг объектов на видео, т. е. отслеживание перемещений одного и того же обнаруженного объекта в видеопотоке.

Методы решения

Данная задача при помощи рекуррентных нейросетей решена в обобщённом виде — создан

инструмент, который предсказывает будущее состояние визуальной сцены с учетом тех объектов, которые оказались невидимы или загорожены. При этом используются не только данные с камер, но и, например, лазерных дальномеров¹⁰¹.

Применение в робототехнике

Трекинг объектов применяется для лучшего понимания визуальной сцены, предсказания поведения объектов и принятия решений по действиям робота. Типичное применение, например, реализация беспилотных автомобилей.

125. Пример работы обнаружения объектов на изображениях



Источник: <https://heartbeat.fritz.ai/the-5-computer-vision-techniques-that-will-change-how-you-see-the-world-1ee19334354b?gi=801ffeab2825>

2.2.3. Сегментация изображений

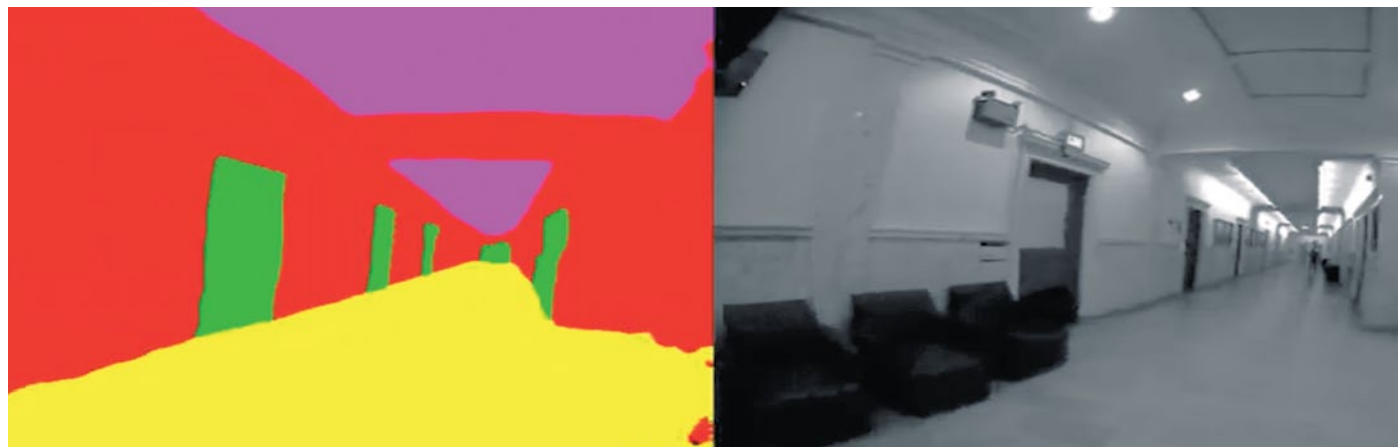
Описание задачи

Ещё одна близкая по смыслу задача к детектированию объектов состоит в определении, какие пиксели на изображении соответствуют обнаруженному объекту — строится разбиение изображения на области, принадлежащие различным объектам.

Методы решения

Благодаря использованию сверточных сетей, а также принципов переноса обучения сегментация изображения с высоким качеством может быть реализована в реальном времени¹⁰².

126. Пример работы сегментации изображения



Источник: <https://www.youtube.com/watch?v=79VUsHahV6g>

Перенос обучения (transfer learning) — техника при осуществлении машинного обучения, при которой знания, полученные при решении одной задачи (например, распознавание легковых автомобилей), применяются для решения другой задачи (например, распознавание грузовиков).

Применение в робототехнике

Решение такой задачи необходимо, например, для захвата предметов, а также для решения задач понимания визуальной сцены роботом.

2.2.4. Оценка глубины (расстояния)

Описание задачи

Задача состоит в определении расстояния до объектов, используя фотографии или видеопоток. Задача подразбивается на определение расстояния до объектов на изображениях по одной¹⁰³ и многим фотографиям¹⁰⁴.

Методы решения

Задача в общем случае обобщается восстановлением 3-мерной геометрии объекта по серии 2-мерных снимков. Для решения с высоким качеством используются 3-мерные сверточные LSTM-сети — комбинация сверточных и рекуррентных сетей¹⁰⁵.

Применение в робототехнике

Задача актуальна как для реализации беспилотных автомобилей, так и для решения задачи захвата предметов. Например, в проекте *Dexterity Network* используется специальная камера — дальномер, однако для удешевления она может быть заменена на пару обычных, а затем вычислена глубина для полученного изображения¹⁰⁶.

Этими задачами компьютерное зрение не ограничивается: можно назвать поиск изображений по содержанию, восстановлению изображений и др. Однако пока они не столь востребованы в применении к робототехнике.

127. Пример построения карты глубины изображения



Источник: <http://www.k4ai.com/depth>

2.3. Обработка естественного языка (NLP, Natural language processing)

Описание технологии и задач

В рамках технологии *NLP* решаются задачи по созданию систем искусственного интеллекта, обрабатывающих или «понимающих» естественный язык общения людей. Задача понимания языка декомпозируется до извлечения сущностей, морфологической разметки, анализа эмоциональной окраски текста. Также решаются задачи по воссозданию структуры и элементов естественного языка — формирование ответов на вопросы, поиск синонимов\антонимов, машинный перевод с одного языка на другой. Самым очевидным примером реализации данной технологии являются чат-боты.

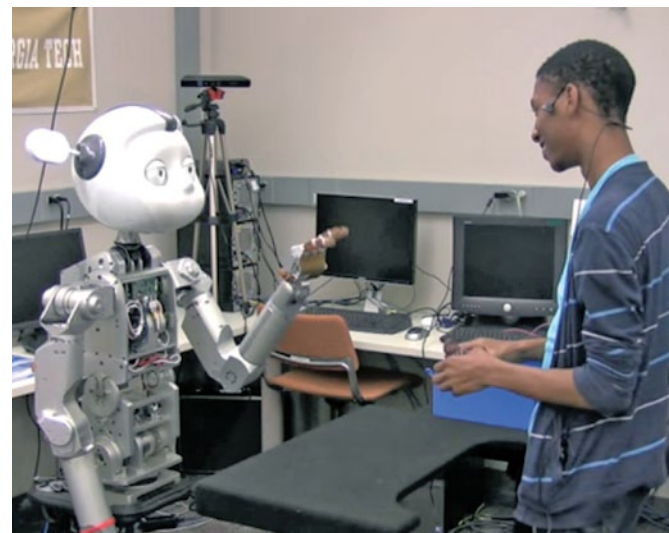
Методы решения

Основные методы, используемые для решения перечисленных задач, основаны на применении глубоких рекуррентных нейросетей, а также их разновидности *LSTM* (*long short term memory*) нейросетей.

Применение в робототехнике

Применительно к робототехнике данная технология направлена на создание диалогового агента для взаимодействия с людьми.

128. Робот *Simon* ведёт диалог с человеком



Источник: <http://static1.businessinsider.com/georgia-techs-simon-robot-talks-like-a-human-2015-11>

Вместе с тем стоит задача не просто взаимодействия человека и робота на естественном языке, но и обучения робота восприятию новых понятий, возникающих при взаимодействии с человеком и средой, с учётом контекста без необходимости его перепрограммирования,¹⁰⁷ т. е. нужно решить сложную задачу установления взаимопонимания и коммуникации.

2.4. Речевая аналитика (SA, *Speech analytics*)

Описание технологии и задач

Речевая аналитика является комплементарной технологией к *NLP*. Если *NLP* работает с текстовой информацией, то речевая аналитика со звуковой речью, а также иными звуками.

Первой и, наверное, главной задачей речевой аналитики является распознавание речи, т. е. перевод звукового сигнала речи в текст, а также определение тональности речи — настроения и эмоционального состояния говорящего. Однако речевая аналитика может быть расширена до более общей технологии — звуковой аналитики, когда мы не ограничиваемся анализом только речи. Например, разработано решение, которое помогает предотвращать незаконную вырубку деревьев¹⁰⁸. Установленные в лесу мобильные телефоны «слушают» окружающую среду и если детектируют звуки, характерные для бензопил, то направляют сигнал соответствующим службам.

Другой важной задачей речевой аналитики является синтез речи. Уже сейчас достигнут результат качественной речи почти неотличимой от речи человека — голосовые помощники компаний *Google*, Яндекс, *Amazon* обладают

высококачественной речью. Один из самых популярных роботов-гуманоидов, *Sophia*, также отличается высококачественной речью.

Методы решения

Речевая аналитика основывается на применении глубоких сверточных сетей,¹⁰⁹ которые позволили выйти на высокий уровень качества распознавания и генерации речи.

Применение в робототехнике

Технологии *Speech Analytics* и *NLP* переплетены. Начинается все с распознавания речи в текст, затем этот текст «понимается», производятся необходимые действия в соответствии с понятым текстом (роботом или иным устройством), генерируется ответный текст, который озвучивается. Затем цикл повторяется. Очевидным образом так достигается максимальное сходство с поведением человека, а значит, возрастают способности роботов к коммуникации и социализации. Кроме того, в задачи речевой аналитики входит биометрическая идентификация человека по его голосу. Сервисные роботы будут нас узнавать, как только мы заговорим (или окажемся в поле зрения)¹¹⁰.

2.5. Принятие решений/ Автоматизация процессов (Reasoning)

Описание технологии

В рамках этой технологии понимается создание инструментов, посредством которых процессы выполняются без участия человека, предоставляется поддержка в выборе решения — в этот широкий класс технологий входят задачи по созданию экспертных систем, систем генерации решений.

В силу того что мы действуем в парадигме узкоспециализированного ИИ, здесь мы говорим о принятии решений в заранее определённых сферах — например, про задачи кредитного скоринга, постановки медицинских диагнозов, управление транспортными средствами и т. п. Можно говорить, что это наиболее развитая технология ИИ, однако это обусловлено тем, что, как правило, решаемые задачи формализованы, а данные, на которые опирается решение, — доступны и структурированы, т. е. имеют удобную табличную форму для обработки.

Рассмотрим, какие задачи для робототехники решаются с помощью этой технологии.

2.5.1. Навигация и обход препятствий

Описание задачи

Традиционно данная задача разбивается на ряд подзадач: локализация в пространстве, планирование пути следования, составление когнитивной карты (запоминание и учёт пройденного пути), управление движением¹¹¹. При этом используется информация с различных сенсоров робота: *GPS*, лазерных дальномеров, датчиков столкновений, камер и др.

Методы решения

Для решения перечисленных подзадач используются различные методы машинного обучения: комбинации многослойных перцептронов, нейронных сетей на основе радиально-симметричных функций и др. Однако основную ценность для решения данной задачи принесли методы обучения с подкреплением на основе глубоких нейросетей¹¹², которые позволяют решать данную задачу без необходимости предварительного обучения человеком, — робот сам обучается на своих ошибках, а также имеет возможность адаптироваться к изменяющейся окружающей среде.

Важно отметить, что подключение камер в качестве сенсоров при навигации означает использование технологий компьютерного зрения — информация, полученная в результате обработки визуального представления в сыром виде, является входом для принятия решения о навигации и обхода препятствий.

2.5.2. Training-by-demonstration

Описание задачи

Эта одна из задач, которая может быть успешно решена с использованием технологий ИИ, т. к. в явном виде требуется наличие возможностей по обучению. Мы говорим об обучении роботов путём показа им отдельных движений, а также целых навыков. Например, робот *Baxter* был способен запоминать объекты (и опять мы говорим о том, что технологии ИИ — в данном случае компьютерное зрение — применяются совместно) и также воспринять движения, которые ему покажет человек¹³. Показать движения человек может разными способами:

Рекуррентная нейросеть — это вид искусственных нейросетей, где связи между нейронами образуют ориентированный граф, соответствующий течению времени или реализации событий во времени. Это позволяет им учитывать динамику изменений (обладать временной памятью).

129. Обучение робота человеком путём взаимодействия через технологию виртуальной реальности

Источник: <https://thenewstack.io>



- непосредственно двигать руки-манипуляторы робота;
- подготовить движения на компьютере в виртуальной среде¹¹⁴
- или, как это предлагают делать в COVARIANT.AI¹¹⁵, записать движения человека в виртуальной реальности.

Таким образом, пользователю робота предоставляют естественный способ передачи сложной информации о движениях и действиях и избавляют от необходимости программирования робота.

Методы решения

При обучении робота используются LSTM (*long short term memory*) — рекуррентные нейросети, которые запоминают движения, а потом способны их воспроизводить. Для того чтобы ускорить обучение робота, применяются методы обучения с подкреплением¹¹⁶: человеку достаточно продемонстрировать всего несколько раз правильные движения, а робот сам обучится и доведёт свои навыки до совершенства.

LSTM-сеть — это один из видов рекуррентных нейросетей, содержащий LSTM-модули вместо или в дополнение к другим модулям. LSTM-модуль — это рекуррентный модуль сети, способный запоминать значения как на короткие, так и на длинные промежутки времени.

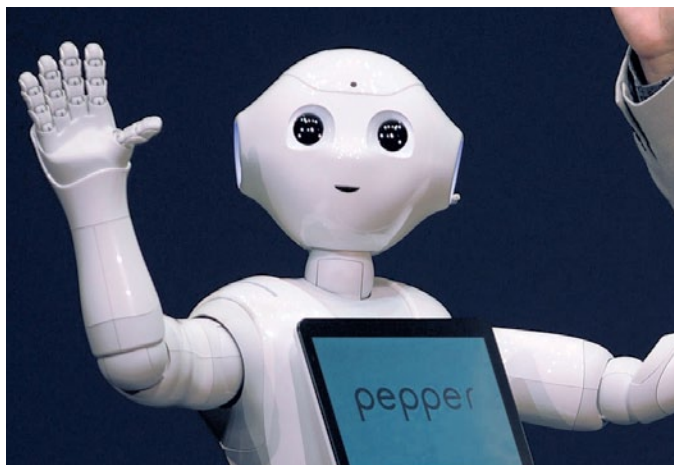
Ключом к данной возможности является то, что LSTM-модуль не использует функцию активации внутри своих рекуррентных компонентов. Таким образом хранимое значение не размывается во времени, а градиент или штраф не исчезает при использовании метода обратного распространения ошибки во времени (*backpropagation*) при обучении сети.

2.5.3. Эмоциональное взаимодействие

Описание задачи

Эмоциональная компонента является одной из главных в общении, поэтому для робототехники важна задача понимания эмоций и их корректной генерации при взаимодействии с человеком. Задача генерации эмоций, наиболее подходящих для конкретного момента при взаимодействии с человеком, состоит в том, чтобы, с одной стороны, учесть эмоции того, с кем идёт взаимодействие,

130. Робот Pepper радуется при встрече



<https://www.extremetech.com>

а с другой — так называемые внутренние эмоции робота — настроение, особенности характера¹¹⁷. После того как эмоциональное состояние сгенерировано, оно учитывается¹¹⁸ при формировании текстовых, речевых сообщений, лицевой мимики¹¹⁹.

Методы решения

Задача понимания эмоций во многом базируется на технологиях *Computer Vision* (распознавание эмоциональных реакций на лице, языка тела), *Speech Analytics* (распознавание тона), *NLP* (определение эмоциональной окраски речи по тексту), а затем их корректной классификации, например, с помощью нейросетей — это один из способов использования сразу множества технологий ИИ.

2.5.4 Автоматизация машинного обучения для решения задач без программирования

Описание задачи

В обычный процесс машинного обучения вовлечен человек, который готовит данные, конструирует признаки, выбирает оптимальный алгоритм, оптимизирует параметры и гиперпараметры, валидирует результат обучения, анализирует полученные результаты. Эти шаги требуют различной, но высокой квалификации.

Идея состоит в том, чтобы их автоматизировать — сократить участие человека и снизить требования к его квалификации, необходимые для проведения машинного обучения. Это должно привести к повышению скорости разработки моделей и решений на базе ИИ.

Примером может являться сервис *Google AutoML Vision*. Он позволяет создать решения по компьютерному зрению (распознаванию образов) без необходимости программирования путем загрузки необходимых к поиску образов. Подбор методов, параметров и другие операции сервис выполняет без участия человека. Такое решение, например, используется в роботе, который находит и показывает местонахождение определённого персонажа среди многих на картинке¹²³.

Методы решения

В компании *Google* автоматизируют проектирование моделей машинного обучения, используя подход на основе обучения с подкреплением (RL)¹²⁴. Кроме того, для проектирования новых архитектур нейронных сетей используются эволюционные алгоритмы.

2.6. Рекомендательные системы (Recommender systems)

Описание технологии

Рекомендательные системы по своей сущности схожи с технологией принятия решений. Однако ввиду особой специфики таких систем — сильной практической составляющей широкого применения в сервисных роботах, мы их выделяем в отдельный класс. Итак, рекомендательные системы имеют целью предложить клиенту или пользователю наиболее интересные для него

131. Робот Pepper — продавец одежды в курсе последних модных тенденций



Источник: <https://www.youtube.com/watch?v=1fQ1uf-Obms>

Обучение с подкреплением (RL, Reinforcement Learning) — способ машинного обучения, при котором система (агент) обучается, взаимодействуя со средой — агент получает отклик от внешней среды на свои действия (награды и штрафы). Задача агента — максимизировать глобальную награду.

Таким образом, обучение с подкреплением позволяет роботу самостоятельно находить оптимальное решение задачи путем проб и ошибок в результате взаимодействия с окружающей средой. Разработчику, который использует RL, не нужно подробно описывать алгоритм решения проблемы — достаточно поставить задачу, и робот сам будет искать ее решение.

объекты (товары, услуги, продукты и т. п.). Каждый из нас встречался с такими системами: нам могут порекомендовать прочитать статью, купить тот или иной товар, посмотреть новый сериал или даже девушку (или парня) для романтического свидания. Базируются такие рекомендации на собранной информации о пользователе.

Методы решения

Современные рекомендательные системы основаны на использовании как свёрточных так и рекуррентных нейросетей, кроме того, применяются принципы обучения с подкреплением¹²⁰.

Применение в робототехнике

Данная технология наиболее применима в сервисных роботах. Например, робот-официант сможет порекомендовать блюдо в ресторане так, чтобы оно максимально удовлетворило вкусам клиентов¹²¹. А робот-продавец-консультант порекомендует одежду¹²².

3. Реализованные кейсы применения ИИ в робототехнике

Технологии AI, которые были рассмотрены в предыдущем разделе, широко внедряются в робототехнических продуктах. Некоторые из них на сегодняшний день являются прототипами, а некоторые стремительно входят в повседневную жизнь, и люди смогут ими пользоваться в ближайшее время.

Самое широкое внедрение получают технологии компьютерного зрения и обработки естественного языка, меньшее распространение пока получают технологии обучения с подкреплением и оптимизация с использованием глубокого обучения — планирование траектории или решение комбинаторных задач.

На сегодняшний день по причинам, связанным с необходимостью создания робастных систем, способных автономно действовать в широком спектре условий и обеспечивать безопасность при взаимодействии с человеком, технологии ИИ используются как отдельные элементы пайплайна управления робототехническими системами, предоставляя дополнительную информацию классическим алгоритмам управления.

3.1. Самоуправляемые автомобили

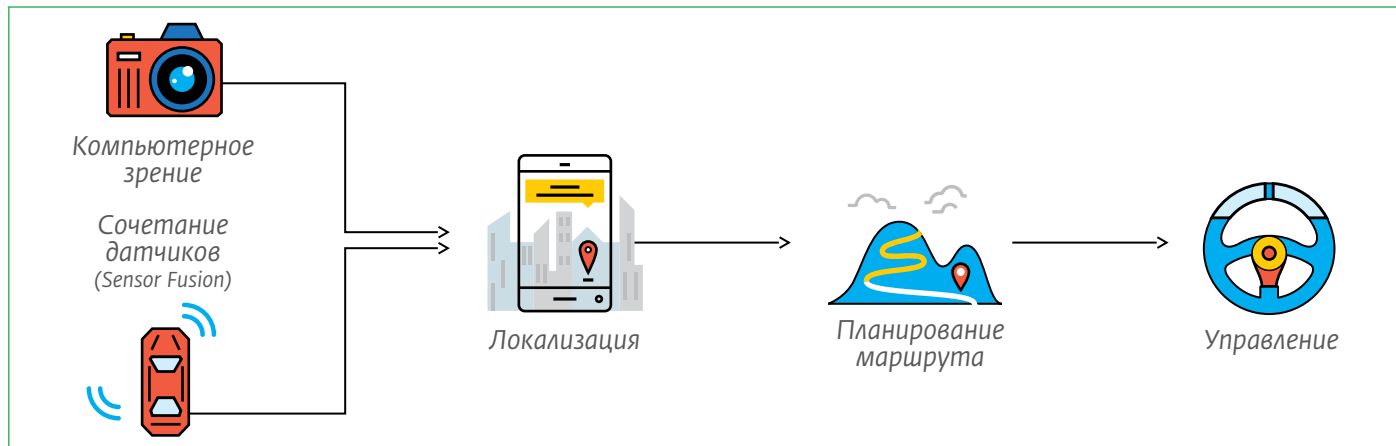
Пожалуй, роботами с искусственным интеллектом, о которых можно услышать чаще всего и которые сильнее всего изменят повседневную жизнь, являются автономные (или самоуправляемые) автомобили. Технологии ИИ используются в самоуправляемых автомобилях для решения множества задач — от обеспечения непосредственно движения до взаимодействия с водителем.

Самоуправляемый автомобиль состоит из пяти основных элементов, обеспечивающих его автономность: компьютерного зрения, обработки данных датчиков, определения своего местоположения (локализация), планирования пути и непосредственно управления автомобилем. В каждой компоненте находят своё применение технологии ИИ.

Автономному автомобилю необходимо понимать, что его окружает и где он находится по отношению к этому окружению. На основании этой информации автомобиль может построить траекторию, по которой он сможет безопасно двигаться и далее сформировать команды рулевого управления, акселератора и тормоза для выполнения движения по траектории.

Методы для решения задач компьютерного зрения, которые были описаны ранее, в частности свёрточные нейронные сети, позволяют использовать изображение с камер для детекции, классификации и сегментации объектов находящихся на дороге — линий разметки, светофоров, дорожных знаков, пешеходов и других автомобилей. Также свёрточные нейронные сети могут использовать и другую информацию для детекции и классификации объектов — данные с лазерных дальнометров.

Рисунок 132. Задачи и технологии ИИ в самоуправляемых автомобилях



Источник: <https://futurama.io>, David Silver (Udacity)

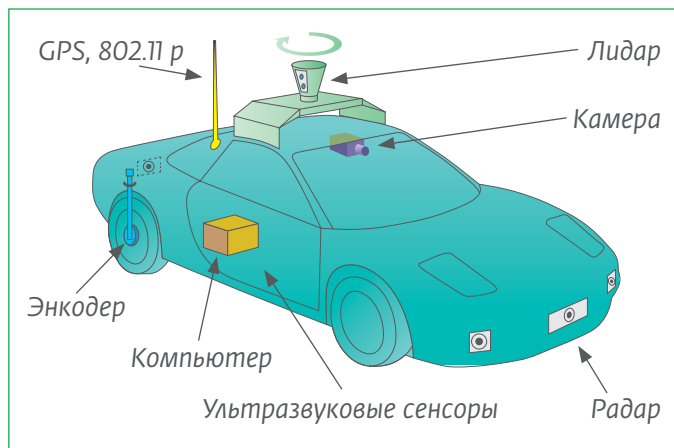
Эта информация совместно с данными от других сенсоров, таких как радар и система геопозиционирования, позволяют автомобилю понимать, на каком расстоянии и в каком положении по отношению к нему находятся другие объекты, — локализовать себя в пространстве.

Зная о своем положении и положении других объектов, автомобиль может построить траекторию движения в потоке других автомобилей или принять решение об остановке перед пешеходным переходом или красным сигналом светофора. Для планирования траектории

также применяются технологии искусственного интеллекта, например на основе рекуррентных нейронных сетей, а в последнее время алгоритмы обучения с подкреплением. Понимая, по какой траектории автомобиль должен двигаться, он может исполнить непосредственные команды управления для следования траектории, управляя акселератором, пользуясь рулевым управлением.

Также современный автомобиль оснащён мультимедиа-системами, призванными обеспечить комфорт пассажира — там тоже используются технологии ИИ. Системы навигации позволяют

Рисунок 133. Типовая функциональная блок-схема сенсоров самоуправляемого автомобиля



Источник: <https://subscription.packtpub.com>

взаимодействовать с ними средствами голосового управления — эти системы используют и глубокие свёрточные и рекуррентные нейронные сети для распознавания голоса, выделения именованных сущностей, таких как адрес и передачи этой информации в навигационную систему.

Важно отметить, что для создания полностью автономных автомобилей (пятого уровня автономности²⁰⁹), недостаточно эффективных систем навигации, более совершенных сенсоров и технологий ИИ. Для этого нужно создавать инфраструктуру, которая обеспечит беспилотным

машинам достаточные условия для ориентации в пространстве. Например, повсеместно наносить на дороги машиночитаемую разметку и устанавливать машиночитаемые дорожные знаки, которые будут хорошо различимы компьютерным зрением даже в условиях плохой видимости. Также необходимо обеспечить эффективный информационный обмен между автомобилями, для чего нужны стабильно работающие сети 5G²¹⁰.

3.2. Промышленные роботы

Одной из самых больших отраслей для применения робототехники, несомненно, является промышленность. Роботы в этой сфере применяются довольно давно: манипуляторы собирают автомобили, робоплатформы перевозят тяжёлые грузы, а станки с ЧПУ производят детали с высокой точностью. В промышленную робототехнику также проникают технологии искусственного интеллекта.

Один из крупнейших производителей промышленных станков и роботов, *FANUC*, не так давно приобрёл ИИ-компанию *Preferred Networks* и смог внедрить технологии ИИ в свои продукты¹²⁵. В частности, алгоритмы машинного обучения используются для предсказания возникновения вибраций в процессе работы сервомоторов

и позволяют корректировать работу сервомоторов для гашения вибраций, возникающих при разгоне и торможении, которые влияют на точность работы. Также глубокое обучение используется в упаковочной машине для решения задачи 3D-упаковки — это процесс упаковки элементов разной формы так, чтобы они занимали минимальный объём. Технология компьютерного зрения позволяет распознать объекты, которые требуется упаковать и составить оптимальный порядок их упаковки.

3.3. Кухонные роботы (*kitchen robots*)

Искусственный интеллект начинает внедряться в другие рутинные для человека задачи, такие как приготовление еды. Кухонные роботы используют такие же технологии компьютерного зрения, как и самоуправляемые автомобили, для детекции, сегментации и классификации ингредиентов, кухонного инструмента и окружения и принимают решения о последовательности действий на основе этой информации.

Кроме того, такие роботы не только должны делать работу за человека, но и быть коллаборативными — способными безопасно работать вместе с человеком в одном пространстве. Алгоритмы машинного обучения в таких роботах должны

не только определять свою траекторию движения для выполнения задания, но и определять намерения человека и планировать свои действия для помощи человеку. Алгоритмы ИИ используются в таких роботах для определения того, как лучше приготовить тот или иной продукт при заданных ингредиентах и оборудовании¹²⁶. Поскольку алгоритмы, используемые в таких роботах, достаточно универсальны, то в будущем такие помощники смогут использоваться не только на кухне, но и для взаимодействия с человеком в более сложных ситуациях — медицинские роботы-ассистенты получают широкое распространение, а также роботы-ассистенты, способные безопасно действовать в более свободных ситуациях, например роботы-официанты¹²⁷.

3.4. Исследовательские кейсы

Конечно, на сегодняшний день применение искусственного интеллекта в робототехнике ограничено и большинство знакомых нам роботов используют «под капотом» стандартные и давно известные алгоритмы для поддержания равновесия, планирования движения манипуляторов или захвата предметов.

Технологии ИИ пока скорее решают отдельные задачи, такие как уже упомянутые детекция

134.
Манипулятор на мобильной платформе для кухонных задач. Лаборатория NVIDIA
Источник: <https://news.developer.nvidia.com>

135.
Оператор учит робота открывать дверь
Источник: <https://ai.googleblog.com>

136.
Коллаборативный робот КУКА в симуляторе и в реальных условиях
Источник: <https://3.bp.blogspot.com>

137.
Робот-упаковщик компании FANUC
Источник: <http://www.plasticsdist.com>



объектов и их классификация, результат решения которых используется в составе более сложных классических «необучаемых» алгоритмов управления манипулятором робота или движения по траектории. Но наблюдаемая скорость исследований в этой сфере позволяет сказать, что скоро мы сможем увидеть действительно самообучаемых роботов, которые смогут, к примеру, использовать обучение с подкреплением, чтобы самостоятельно учиться выполнять целевые действия, не будучи запрограммированными на конкретную функцию.

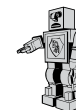
Ярким примером являются исследования в обучении с подкреплением, такие как *sim-to-real*, которые развивает *Google*. Сутью этого подхода является создание реалистичного виртуального симулятора робота и среды, в которой он должен выполнять требуемое действие, например движение или захват предмета, и обучение робота путём «проб и ошибок», пока он не научится решать требуемую задачу. После этого обученный алгоритм переносится в физического робота. В процессе обучения используются различные виды нейронных сетей, рассмотренные выше, которые позволяют использовать данные с сенсоров и камер робота и в каждый момент времени определять, какие команды должны быть поданы на сервоприводы робота для его устойчивого движения или захвата предмета. Такой подход позволяет роботу учиться *end-2-end*, напрямую преобразуя показания сенсоров и изображения с камер в движения¹²⁸.

При всех возможностях ИИ пока есть проблемы, которые ограничивают его применение в робототехнике. Одной из проблем является неспособность интеллектуальных систем, встроенных в роботов, справляться с состязательными атаками (*adversarial attacks*): алгоритмы таких систем способны качественно детектировать и классифицировать изображения, но, если добавить незначительный шум, алгоритмы будут совершать грубые ошибки или вовсе перестанут распознавать объекты. Исследователям еще предстоит обойти это ограничение, что расширит способность роботов воспринимать среду.

3.5 Примеры проектов Лаборатории робототехники Сбербанка с применением технологий ИИ

kNOw Teacher. Использование нейронных сетей в задачах манипулирования объектами.

Цель проекта — сделать решение, с помощью которого оператор сможет быстро и без программирования обучать робота захватывать новые классы объектов. Другими словами, научить робота захватывать разные объекты в заранее определённых точках и заранее определёнными



138.
Проект kNOw
Teacher, Лаборатория
робототехники
Сбербанка

Источник: Лаборатория
робототехники Сбербанка

139.
Логистический
робот,
разработанный
в лаборатории
робототехники
Сбербанка

Источник: Лаборатория
робототехники Сбербанка

140.
3D-модель,
текстуры
и цифровой
двойник Елена

Источник: Лаборатория
робототехники Сбербанка



способами, не привлекая инженерную команду для кропотливой настройки.

В ходе работы над проектом был решён ряд задач, с которыми сталкиваются, например, на складах при сборке заказов и в распределительных центрах при сортировке посылок:

- 01.** Захват объекта, который находится в произвольном положении и ориентации;
- 02.** Захват объекта, который может быть деформируемым;
- 03.** обобщение решения на объектах разных цветов и размеров;
- 04.** захват объекта в заданной точке таким образом, чтобы было известно его положение в захватном устройстве, чтобы можно было осуществлять дальнейшие целенаправленные манипуляции.

Поставленная цель была достигнута за счёт поиска на реальном объекте ключевых точек, которые задаёт оператор на изображении объекта.

В качестве аппаратного обеспечения были использованы: коллаборативный манипулятор *Universal Robots UR10*, пятипалый захват *Schunk SVH* и камера глубины *Intel RealSense*.

Для распознавания категории объекта, который располагается в рабочей области робота, была использована нейронная сеть *ImageNet*. Для поиска ключевых точек — свёрточная нейронная сеть *Dense Object Net*. Были разработаны модули автоматического сбора и предобработки информации для обучения нейросети на имеющихся моделях робота и камер глубины; модули распознавания и локализации ключевых точек; модуль формирования способов захвата для категории объектов и модуль выполнения захвата и дальнейших манипуляций.

Процесс обучения робота захвату нового класса объекта состоит из нескольких шагов.

- 01.** Робот «осматривает» объект с разных сторон, записывая *RGBD* видео.
- 02.** На основе *RGBD*-видео осуществляется реконструкция 3D-модели объекта.
- 03.** На основе 3D-модели, карты глубин и кадров из видео строится обучающая выборка для нейронной сети.
- 04.** Нейронная сеть обучается сопоставлять точки на изображениях объекта с точками на 3D-модели объекта.
- 05.** Оператор задаёт ключевые точки (характерные для данной категории объектов).

- 06.** Оператор показывает роботу, как нужно брать объект необходимым для частной задачи способом (например, в режиме *free-drive* или с помощью копирующего устройства).

Продолжительность обучения захвату новой категории объектов зависит от реализации программного обеспечения и используемого оборудования. В текущей лабораторной версии весь конвейер от подготовки данных до первого захвата занимает порядка трёх часов. После обучения робот готов к захвату объектов нового класса (даже если мы меняем цвет, форму, положение, ориентацию или размер объекта).

- 01.** Робот «осматривает» объект с разных сторон, делая фотографии.
- 02.** Нейронная сеть находит на фото ключевые точки, ранее определённые оператором.
- 03.** С помощью камеры глубины найденные точки локализуются на поверхности реального объекта.
- 04.** Робот подбирает наиболее подходящий из способов захвата, определённых оператором на этапе обучения, и планирует движения, аналогичные этому способу для текущего положения и ориентации объекта.

- 05.** Робот выполняет захват объекта и цепочку дальнейших манипуляций с ним.

Логистический робот

Это автономное наземное транспортное средство — мобильный робот. Он предназначен для доставки товаров и ценностей в помещениях рядом с людьми. Его польза состоит в повышении экономии времени сотрудников банка за счёт автоматизации рутинных операций. У робота есть преимущество перед традиционной курьерской доставкой: уровень конфиденциальности перевозимого груза повышается благодаря исключению человеческого фактора.

Робот умеет перевозить грузы весом до 15 кг, выдавать их по ПИН-коду или по лицу получателя (используя *Face Recognition*), ориентироваться в сложных условиях и эффективно маневрировать среди людей, для большей безопасности есть несколько контуров защиты, в том числе физический.



В работе используется широкий стек технологий для решения задач расчёта кинематики и динамики, планирования и контроля перемещений, локализации и навигации и других. Некоторые задачи эффективно решаются с применением искусственного интеллекта, например:

- 01.** при помощи алгоритмов *Random forest* и нейронных сетей робот определяет

вероятность нахождения людей рядом с собой. Эта вероятность учитывается при планировании перемещений робота и для избежания столкновений. Источником данных для алгоритмов служит лазерный дальномер (лидар), установленный на роботе, который с заданной частотой отправляет на вход алгоритма вектор координат;

- 02.** Для детекции и распознавания лиц при получении груза используются нейронные сети — многозадачная каскадная нейронная сеть (MTCNN) и остаточная нейронная сеть (ResNet).

Цифровой двойник Елена

Цифровой двойник — решение, позволяющее получать фотореалистичный видеоматериал из произвольного текста. Его уникальность в том, что это первое подобное решение на русском языке.

Сфера применения технологии широка, цифровой двойник может выполнять работу телеведущего-диктора: для этого нужно обучить ансамбль нейронных сетей на датасетах из нескольких десятков часов записей голоса диктора и видеозаписей с актёром. После обучения достаточно подать на вход текст, чтобы получить видеоряд, на котором ведущий будет озвучивать заданный текст с соответствующей мимикой на лице. Плюсом применения нейронных сетей является получение возможности воспроизведения



голосом и мимикой любого произвольного текста с определёнными допущениями, даже с использованием различных языков, т. е. тот текст, который не произносили диктор и актёр при записи датасета.

В общем виде создание видеоряда можно представить в следующем виде:

- 01.** исходный текст подаётся на модуль синтеза речи;
- 02.** синтезируется речь (звук) и передаётся в модуль генерации лица;
- 03.** генерируется лицо — формируется геометрия губ, зубов и лица на основе звука, затем компоненты лицевой геометрии выравниваются с лицом, формируются динамические текстуры и осуществляется композинг текстур с получившейся 3D-моделью;
- 04.** звук синтезированной речи объединяется с видеоизображением сгенерированного лица.

Для синтеза речи используется рекуррентная нейронная сеть (RNN), а для задач генерации изображения лица — свёрточные (CNN). При этом в различных исполнениях решения возможно использование и других видов нейронных сетей, таких как LSTM и GAN.

4. Обзор компаний, которые занимаются исследованием и развитием ИИ в робототехнике, их классификация

На сегодняшний день конкуренция на рынке робототехники и искусственного интеллекта, как никогда, высока. Все большее количество крупных технологических (и не только) компаний ставит приоритетом развитие данных областей внутри организации, помимо этого, возникает множество стартапов, целью которых является создание интеллектуальных роботов, которые могут найти применение в большом спектре направлений.

Согласно прогнозам *BusinessWire*, к 2023 г. мировая индустрия интеллектуальных роботов достигнет \$14,3 млрд, что почти в три раза выше аналогичного показателя в 2018-м, который составил \$4,9 млрд (в среднем за пять лет показатель ежегодно увеличивался на 23,7%)¹²⁷.

Ассоциация потребительских технологий США (*Consumer Technology Association, CTA*) предложила использовать следующую классификацию компаний, которые специализируются на разработке и исследованиях в областях искусственного интеллекта и робототехники. *CTA* предлагает делить компании на *Enabler*, *Engager* и *Enhancer*.

1. Enabler — компании, которые разрабатывают и поставляют составные компоненты (блоки) для областей робототехники или искусственного интеллекта, такие как современное оборудование, системы/автомобили с автономным управлением, базы данных, используемые для машинного обучения.

Рисунок 141. Классификация компаний на рынке ИИ и робототехники (*Consumer Technology Association*)

Enabler

Разработка и поставка составных компонентов (блоков)

Engager

Проектирование, создание или поставка разработок в форме конечных продуктов, ПО, систем

Enhancer

Предоставление услуг в рамках полноценной экосистемы (*value-added services*)

2. Engager — компании, которые проектируют, создают или поставляют разработки в областях робототехники и/или искусственного интеллекта в форме конечных продуктов, программного обеспечения или систем.

3. Enhancer — компании, которые предлагают пользователям различные услуги в рамках полноценной экосистемы (*value-added services*)¹²⁹.

Среди компаний классов *Enabler* и *Engager* много стартапов и небольших компаний, которые недавно вышли на рынок. В свою очередь в класс *Enhancer* попадают крупные компании, которые уже предоставляют сложившуюся сервисную и продуктовую экосистему на рынке, а с помощью ИИ и робототехники хотят укрепить свои позиции.

Существуют различные подходы к оценке успешности компании, её значимости на рынке и привлекательности для инвесторов. Один из подходов представлен на *Crunchbase* — платформе для поиска деловой информации о частных и публичных компаниях (спектр представленных компаний варьируется от стартапов до гигантов отраслей).

Публикации *Crunchbase* включают информацию об инвестициях и финансировании, учредителях компании и частных лицах на руководящих должностях, слияниях и поглощениях, новостях и тенденциях в отрасли.

Рейтинг компаний *Crunchbase* создаётся на основании ранжирования компаний, которые рассчитываются в режиме реального времени, принимая во внимание множество факторов. Ранг компании является изменчивым и может со временем расти и падать в зависимости от событий, таких как запуск новых продуктов, новые финансовые поступления, изменения в руководстве и т. д. Всё это оказывает влияние на место компании в общем рейтинге^{130,131}.

Для большей наглядности рассмотрим рейтинг компаний с применением фильтров по двум категориям — ИИ и робототехника. Таблица 9 содержит Топ компаний-лидеров в обеих областях, по мнению *Crunchbase*. На первых позициях рейтинга находятся как крупнейший и давно закрепивший за собой ведущие позиции представитель индустрии — *NVIDIA*, так и совсем недавно возникшие узкоспециализированные компании меньшего охвата, такие как *Brain Corp* и *Vicarious*.

В данном рейтинге преобладают компании из США, а также Китая, что подтверждает тот факт, что эти страны на текущий момент являются лидерами, которые задают основные тенденции в указанных индустриях.

Таблица 9. Топ компаний, которые относятся к категориям ИИ и «робототехника»*

№	Компания	Объём инвестиций	Ранг СВ	Локация
1	NVIDIA	\$4B	95	Санта-Клара, Калифорния, США
2	NEXT Future Transortation	\$5M	258	Сан-Хосе, Калифорния, США
3	Starship technologies**	\$42.2M	281	Сан-Франциско, Калифорния, США
4	Horizon Robotics	\$700M	348	Пекин, Китай
5	Ripcord	\$80M	509	Хейвард, Калифорния, США
6	Argo AI	\$1B	521	Питтсбург, Пенсильвания, США
7	Aeye, Inc.	\$59.1M	864	Плезантон, Калифорния, США
8	WorkFusion	\$121.3M	1079	Нью-Йорк, США
9	Zymergen	\$574.1M	1196	Эмеривилл, Калифорния, США
10	UBTech Robotics**	\$940M	1398	Шэньчжэнь, Китай
11	Brain Corp	\$125M	1448	Сан-Диего, Калифорния, США
12	Pensa Systems	\$7.2M	1624	Остин, Техас, США
13	Vicarious	\$122M	2116	Сан-Франциско, Калифорния, США
14	Bossa Nova Robotics	\$69.6M	2120	Сан-Франциско, Калифорния, США

Источник: <https://www.crunchbase.com>

* По мнению Crunchbase. Данные актуальны на 27.02.2019 (23:00 по московскому времени)

** Подробнее об этих компаниях в третьем разделе «Обзор робохабов и робостартапов»

5. Перспективные направления развития ИИ в робототехнике

Говоря о тенденциях развития ИИ в робототехнике мы прежде всего должны сказать, что теперь развитие будет идти в основном за счёт всё большего применения ИИ, а не только за счёт применения новых материалов, усовершенствования механизмов. Роботы именно вместе с ИИ будут становиться такими, как мы их представляем по различным научно-фантастическим фильмам, книгам и компьютерным играм, — механистическим аналогом человека.

Для решения задач когнитивной роботехники — относительно молодого направления, занимающегося созданием универсальных систем управления и взаимодействия роботов, — необходимо развитие сильного ИИ, в частности решение задач в области представления знаний (*knowledge representation*) и рассуждений (*reasoning*). Развитие сильного ИИ на основе только математики, логики и компьютерных наук затруднено, при этом данные науки позволили создать ИИ для узких задач. Поэтому идёт интеграция математического и когнитивистского подходов — активное вовлечение в исследования по этому направлению

биологов, психологов, а также представителей иных наук. ИИ — снова, как и в начале 1950-х, междисциплинарная область исследований^{132,133}.

Другой важной тенденцией, связанной с развитием ИИ, является возрастающий запрос на объяснение, как ИИ принимает то или иное решение. С ростом возможностей ИИ ему доверяют всё больше решений и действий — они становятся всё более критическими и сложными. Если мы не будем доверять ИИ, то развитие применения автономных интеллектуальных роботов может затормозиться. Рассмотрим отдельные направления развития ИИ в робототехнике в различном временном горизонте.



5.1. Долгосрочное видение

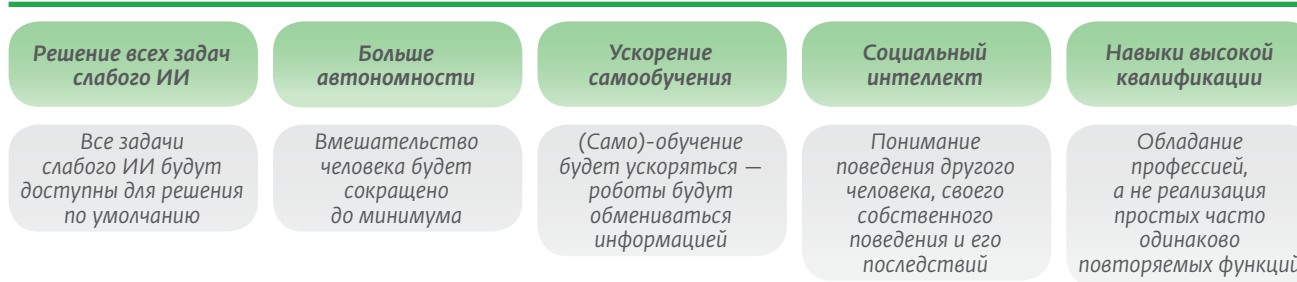
Наше долгосрочное видение основано на оптимистичном сценарии развития технологий ИИ, т. е. предположении, что, исходя из текущих тенденций, развитие и внедрение технологий ИИ будет идти быстрыми темпами.

5.1.1. Доступное всем решение задач слабого ИИ

Своё видение развития роботов сформулировал известный исследователь роботов и футуролог, адъюнкт-профессор Университета Карнеги Меллон Ханс Моравек. Исходя из предположения, что доступная вычислительная мощность будет

Рисунок 142. Долгосрочное и краткосрочное видение перспективных направлений ИИ в робототехнике

Долгосрочный горизонт



Краткосрочный горизонт

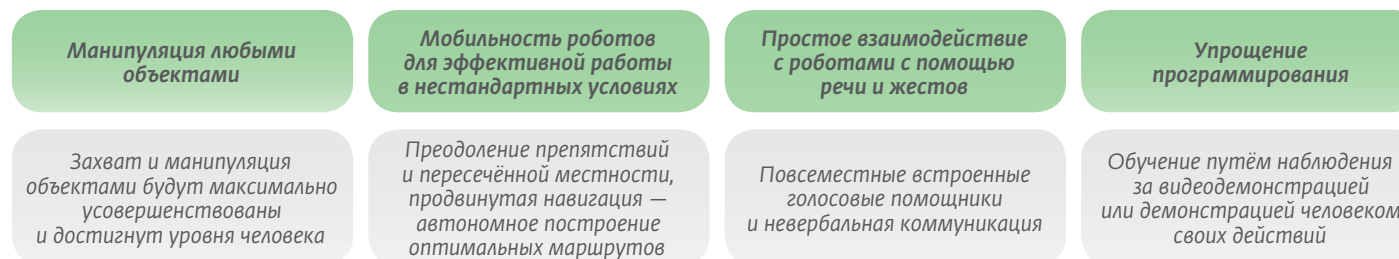


Рисунок 143. Четыре поколения роботов, выделенные Моравеком



расти экспоненциально, Моравек выделил четыре поколения роботов (рисунок 143)¹³⁴. Учитывая, что рост вычислительных мощностей является не единственным необходимым условием для создания систем ИИ, тем более систем сильного ИИ, говорить о том, что к указанным годам мы достигнем уровня интеллекта человека, было бы очень смело. Будет правильно сказать, что вычислительные мощности со временем не будут препятствием реализации любых самых сложных систем ИИ, в т. ч. систем ИИ для роботов. А значит, любые задачи слабого ИИ будут доступны для решения в каждом роботе по умолчанию.

5.1.2. Больше автономности

В силу того что уже совсем скоро задачи слабого ИИ будут решаться каждым роботом, будет расти их автономность¹³⁵. Роботы будут автономны в рамках решения своих основных задач. Таким образом, можно говорить, что роботы будут самостоятельно решать определённые специфические задачи, но только лишь их. Если же возникнет ситуация, когда роботу потребуется выйти за рамки решаемых задач, всё равно будет требоваться вмешательство человека. Естественно, что количество и спектр задач, решаемых роботом самостоятельно, будет расти и в итоге вмешательство человека будет со временем сокращено до минимума и в штатных условиях не потребуется. В дальнейшем роботы смогут решать задачи целеполагания, а не только планирования своих действий.

5.1.3. Ускорение самообучения

Для повышения автономности роботов обязательным их свойством будет способность к обучению и адаптации к среде. Причём роботы, с одной стороны, должны быть легко обучаемы человеком путём демонстрации необходимых навыков и способов принятия решений. А с другой — должны постоянно самосовершенствоваться, адаптируясь к изменяющейся среде, учась на собственных ошибках.

Процесс (само)-обучения будет постоянно ускоряться благодаря тому, что роботы будут непрерывно обмениваться информацией и делиться удачными решениями — это также будет происходить без участия человека. Вероятно, это приведёт к созданию «всемирной паутины знаний» — интернета для роботов¹³⁶. Таким образом, роботам придётся обучаться лишь совсем новым незнакомым навыкам или адаптироваться к вновь открытым условиям — всё остальное уже будет в базе знаний.

5.1.4. Социальный интеллект

Способность общаться с человеком привычным для него способом, что будет реализовано в краткосрочной перспективе, ещё недостаточно для того, чтобы робот воспринимался наиболее естественно и ему можно было бы довериться. Со временем роботы будут использоваться

повседневно и действовать они будут всё более социально-интеллектуально — оценивать и строить план действий с точки зрения воздействия на психоэмоциональное состояние окружающих¹³⁷.

В силу того что человек живёт в обществе и создаёт социальные системы, роботы должны развивать достаточный социальный интеллект, чтобы эффективно взаимодействовать с ними. Несмотря на их огромный потенциал, роботы не будут приняты в обществе, если они не продемонстрируют навыки социального интеллекта. Они не смогут эффективно работать с людьми, если проигнорируют их ограничения, потребности, ожидания и уязвимости¹³⁸.

5.1.5. Высококвалифицированные навыки

Роботы в т. ч. благодаря технологиям ИИ будут получать всё более высокоуровневые навыки. Мы не будем думать о роботах как о механизмах, которые могут реализовать одну-две простые часто одинаково повторяемые функции, но — как об обычном человеке определённой профессии: робот-медсестра, робот-няня, робот-продавец. Все эти профессии требуют множества навыков, а также способности адаптироваться к среде. Каждая профессия будет подробно декомпозирована на подзадачи, которые требуется выполнять с помощью ИИ-технологий.

Таблица 10. Пример развития навыков у сервисных роботов

Категория работа	Навыки на текущий уровень	Навыки в краткосрочной перспективе	Навыки в долгосрочной перспективе
Роботы для профессиональных услуг	Полуавтономные сервисные роботы (дистанционно управляемые манипуляторы, хирургические роботы)	Автономные ассистенты	Квалифицированные работники (автономные медицинские работники)
Домашние роботы	Однозадачные полуавтономные устройства	Автономные домашние «инструменты»	Квалифицированные домашние помощники (сиделка для пожилых людей и детей)
Охранники	Беспилотные наземные и летальные транспортные средства	Неавтономные боевые роботы	Роботизированные соединения (микророботы, использование роевого интеллекта)
Роботы для космоса	Полуавтономные сервисные роботы	Автономные сервисы	Автономное исследование космоса

5.2. Краткосрочное видение

Рассмотренные выше направления будут реализованы в отдалённой перспективе, однако отдельные результаты по ним достижимы в краткосрочной перспективе и часто существуют в виде прототипов. Некоторые из разрабатываемых прототипов реализуются на принципах *open-source*, поэтому мы полагаем, что их ждут скорое развитие и повсеместное внедрение.

5.2.1. Манипуляция над объектами

В недалёком будущем возможности роботов по захвату и манипуляции объектами будут максимально усовершенствованы и достигнут уровня человека. Роботы при помощи технологий ИИ смогут легко, быстро и точно манипулировать объектами: брать, поворачивать, перемещать, а также чувствовать объекты, причём без предварительных знаний об их форме, материалах, свойствах. Важно отметить, что объекты могут быть самыми разнообразными, в т. ч. хрупкими, липкими и т. п.

При этом в случае неудачи манипуляции с объектом робот сможет скорректировать свои действия так, чтобы выполнить необходимую задачу¹³⁹.

5.2.2. Мобильность роботов для эффективной работы в нестандартных условиях

С помощью технологий ИИ роботы приобретут мобильность, аналогичную человеку и даже большую, — смогут преодолевать препятствия, пересечённую местность.

Кроме того, возрастут возможности по навигации — роботы смогут автономно строить оптимальные маршруты, быстро ориентироваться при возникновении каких-либо изменений во внешней среде при перемещении.

Более того, мобильность выйдет на новый уровень — такой что роботы смогут перемещаться по совершенно незнакомой местности без необходимости предварительного составления карт¹⁴⁰.

5.2.3. Естественное взаимодействие с роботами с помощью речи и жестов

Уже сегодня голосовые помощники, которые встраивают в смартфоны и умные колонки, обеспечивают приемлемый уровень интерактивного взаимодействия с человеком. Естественно ожидать, что все роботы воспользуются достижениями и будут, по сути, иметь своей неотъемлемой частью голосового помощника. Разговор с роботом не будет отличаться от разговора с человеком — он будет идти естественно и привычно для человека — без признаков того, что собеседник является машиной.

Также мы ожидаем, что все роботы будут взаимодействовать с человеком, следя в т. ч. за невербальной коммуникацией. В частности, самым естественным способом её проявления является жестикуляция. Более того, в случаях опасности или невозможности передать информацию роботу с помощью речи жесты становятся единственным способом сообщить, например, о непредвиденной чрезвычайной, аварийной или угрожающей здоровью ситуации.

5.2.4. Упрощение программирования

Обучение путём демонстрации роботу необходимых траекторий движения, когда измерения силы/крутящего момента преобразуются в код, уже реализовано. Однако роботы будут учиться, наблюдая видеодемонстрации или демонстрации человеком вживую своих действий^{141,142}, а также методом проб и ошибок. Сокращение времени и затрат на программирование робота сделает их более доступными для широкого круга компаний и увеличит внедрение роботов в производственные процессы, что сделает эти компании более продуктивными.

рывающий
ти человека

Интеллектуальный
роботизация

СБЕРБАНК

Технологический университет
Сбербанка в области робототехники

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР
МИРОВОГО РЫНКА РОБОТОТЕХНИКИ



06

Нормативное регулирование и этические аспекты робототехники



Материал подготовлен совместно с **Андреем Незнамовым**, руководителем Исследовательского центра проблем регулирования робототехники и ИИ (АНО «Робоправо»).

Содержание раздела

1. Обзор существующего опыта нормативного регулирования в мире	216
1.1. Европейский союз.....	217
1.2. Китай.....	219
1.3. Япония.....	221
1.4. США.....	223
1.5. Корея.....	225
1.6. Иные страны.....	227
1.7. Россия.....	229
2. Основные направления нормативного регулирования	231
2.1. Стимулирование развития отрасли.....	232
2.2. Правовое регулирование отношений с использованием роботов.....	233
3. Основные правовые проблемы	235
3.1. Понятие робота и смежных терминов.....	236
3.2. Ответственность за причиняемый роботами вред.....	239
3.3. Проблема принадлежности прав на интеллектуальную собственность.....	241
3.4. Принципы регулирования робототехники.....	242
3.5. Права роботов.....	244
3.6. Проблема информационной безопасности и использования больших данных.....	246
3.7. Применение роботов в военных целях.....	246
4. Роботэтика	248
4.1. Этические законы робототехники.....	248
4.2. Проблема вагонетки.....	251
4.3. Проблема безработицы и социального расслоения как следствия роботизации.....	252
4.4. Проблема экзистенциальных рисков сверхразума.....	253

144. Советские студенты строят роботов для Первого всесоюзного соревнования роботов 1960-х

Источник: <https://pbs.twimg.com>



Обзор существующего опыта нормативного регулирования в мире

С появлением роботов в мире появилось первое нормативное регулирование. Долгое время это были лишь профильные акты, действующие в отдельных отраслях экономики. Первыми такими актами стали государственные стандарты.

- С 1984 г. в СССР действовал ГОСТ 25685-83 «Роботы промышленные. Классификация» и ряд иных ГОСТ, посвящённых промышленным роботам. А Постановлением Госстандарта от 14 октября 1982 г. № 3966 были утверждены методические указания, посвящённые общим положениям о роботизации.

С развитием робототехники и сенсорики существенно расширился перечень сфер, где стали применяться роботы. Соответствующим образом стала расширяться сфера нормативного

регулирования. Уже в 2000-х годах стали приниматься первые законы, посвящённые именно роботам. В 2010-х эта тенденция стала быстро проявляться.

- Закон Южной Кореи «О содействие развитию и распространению умных роботов» от 28 марта 2008 г.¹⁴³

Во многих странах мира начали разрабатываться комплексные акты, направленные на регулирование робототехники в целом и отдельных категорий роботов. К 2019 г. человечеством уже накоплен некоторый опыт регулирования. Он включает в себя исследования государственных органов и экспертных групп, законы и подзаконные акты, стратегии и концепции, публикации учёных и исследователей.

Кратко расскажем про некоторые из них¹⁴⁴.

1.1. Европейский СОЮЗ



Европейский союз — одна из самых перспективных юрисдикций с точки зрения нормативного регулирования робототехники. Регулирование существует как на уровне отдельных стран, так и предпринимаются попытки регулирования на союзном уровне. Вот некоторые акты.



Дорожная карта развития робототехники в Европе ROBOTICS 2020

Это основной документ стратегического планирования, созданный экспертами частно-государственного партнёрства SPARC. Документ включает детальное описание основных сфер применения роботов — от производства и здравоохранения до транспорта и потребительской робототехники.

Отличительной особенностью дорожной карты является подробный анализ каждой сферы применения роботов:

- общий анализ всей сферы и входящих в неё рынков;
- существующие возможности и перспективы;
- барьеры развития;
- ключевые игроки;
- ключевые проекты;
- информация о рынках, относящихся к данной сфере, с анализом каждого;
- место Европы на этих рынках;
- ключевые технические требования к роботам, применяемым в этой сфере;
- ключевые технологические цели;
- возможность комбинации технологий;
- перспективы развития робототехники.

В дорожной карте также выполнен детальный обзор основных типов роботов, представлено описание возможностей и компонентов роботов, затронуты вопросы стандартизации и изменения правового регулирования.

Экспертное исследование «Руководство о регулировании робототехники» (2014)¹⁴⁶

С 2012 г. по 2014 г. несколько десятков европейских юристов по заказу Европейской комиссии осуществляли исследование правовых аспектов роботизации. Проект получил название «Робоправо» (*Robolaw*). С доктринальной точки зрения, это одно из самых фундаментальных правовых исследований на сегодняшний день. Именно в нём поставлен вопрос о предмете «Робоправа», применимой терминологии, а также о ключевых правовых и этических проблемах.

Резолюция 2015/2103 (INL) «Нормы гражданского права о робототехнике» (2017)¹⁴⁷

16 февраля 2017 г. Парламент ЕС принял Резолюцию 2015/2103 (INL), которая основана на серии отчётов¹⁴⁸, подготовленных в рамках проекта «Робоправо»¹⁴⁹. Это одна из первых попыток оформления комплексного подхода к регулированию робототехники.

Она содержит целый ряд важных и интересных положений, например¹⁵⁰:

- общие принципы робототехники со ссылкой на законы А. Азимова, а также основные предпосылки и положения, которые предшествовали и способствовали принятию резолюции;
- определение термина «робот» и смежных с ним;
- подходы к проблеме ответственности за причинённый роботами вред;
- предложение о создании Европейского агентства по робототехнике и ИИ;
- предложение о создании единых критериев для создания тестовых зон;
- базовые правила регулирования по категориям роботов;
- предложение о системе регистрации умных роботов;
- устав роботов и этические кодексы производителей;
- предложение подумать над особым статусом «электронных личностей».

1.2. Китай



Китай является одним из лидеров по числу производимых и закупаемых роботов.

В стране последовательно выстраивается правовая инфраструктура для развития и внедрения технологий. Сейчас она носит явно выраженный стимулирующий характер. Вот некоторые акты.



Государственная программа развития «Сделано в Китае — 2025»¹⁵¹

Программа «Сделано в Китае — 2025» нацелена на модернизацию экономики Китая — прежде всего в сфере промышленности. Основные направления программы прямо или косвенно связаны с робототехникой:

- создание национальных научно-производственных центров;
- модернизация базовой промышленности в сторону универсальности;
- внедрение новых технологий в промышленность;
- развитие экологически чистых технологий;
- создание продвинутого производства¹⁵².

«Руководство по содействию производства промышленных роботов» (2013)¹⁵³

Содержит в себе план по развитию отрасли до 2020 г:

- 01.** Создание до пяти конкурентоспособных предприятий на международном рынке, а также вспомогательных промышленных кластеров в сфере робототехники;
- 02.** Повышение доли Китая на рынке высококачественных продуктов робототехники как минимум до 45%;
- 03.** Обеспечение того, чтобы на каждые 10 000 рабочих приходилось по крайней мере 100 роботов.

«План развития индустрии робототехники (2016–2020)»¹⁵⁴

Содержит различные меры по ускорению исследований в области робототехники. При этом, как часто бывает в китайских актах стратегического планирования, план развития робототехники включает в себя измеримые цели: создание определённого количества компаний в индустрии, производство не менее 100 000 промышленных роботов китайскими компаниями и т. д.¹⁵⁵ Отдельный фокус делается на стандартизации: участие в разработке и пересмотре международных стандартов в сфере робототехники, а также разработка национальных стандартов. Для достижения поставленных целей предлагаются следующие меры¹⁵⁶:

- развитие ключевых технологий робототехники;
- создание центра развития робототехники, который будет курировать фундаментальные и прикладные исследования, отвечать за широкое применение результатов исследований, оказывать техническую поддержку предприятиям, развивать международное сотрудничество и готовить специалистов в области робототехники;
- обновление промышленных стандартов робототехники, в том числе проектирования, интерфейсов, безопасности и связи;
- создание национального центра контроля и оценки робототехнических устройств для тестирования и сертификации ключевых технологий и решений;
- популяризация и демонстрация робототехнических решений, их различных областей применения;
- укрепление межведомственного взаимодействия;
- создание региональной программы развития робототехники в провинциях;
- создание робототехнических парков и промышленных кластеров;
- использование механизмов страхового возмещения для содействия применению робототехники;
- с развитием китайской робототехники осуществление постепенного отказа от таможенных льгот;
- поощрение банков и фондов, финансирующих робототехнику;
- активная поддержка инвестирования в робототехнические компании, в том числе и зарубежные, стимулирование слияний и поглощений;
- использование программы лизинга для приобретения роботов;
- организация и проведение обучающих программ для подготовки персонала в области робототехники, создание необходимых программ обучения в университетах.

1.3. Япония



Страна, долгое время считавшаяся безусловным лидером робототехнической гонки, в 2010-х неожиданно обнаружила увеличивающееся технологическое отставание от других государств. Поправить положение дел японцы постарались радикально, в том числе посредством существенного изменения регулирования. Базовый документ, посвящённый «революции роботов», действительно содержит план по изменению целого ряда законов.



«Новая стратегия роботов», 2015¹⁵⁷

В 2014 г. Правительство Японии учредило специальный Совет по реализации робототехнической революции, который разработал документ под названием «Новая стратегия роботов. Японская стратегия роботов: обзор, стратегия, план действий». Новая стратегия содержит общий обзор и пятилетний план развития робототехники.

Одна из мер новой стратегии роботов — разработка концепции «Инициатива революции роботов». Это частная организационная платформа

для продвижения «революции роботов», изложенной в стратегии. «Инициатива революции роботов» — это открытая инновационная платформа для широкого круга заинтересованных лиц при совместной работе и принятии конкретных мер для реализации этих целей¹⁵⁸.

Также в стратегии ставится задача кардинально изменить бытовой подход к роботам и превратить Японию в большой робогород.

Три основных направления революции:

- Япония должна стать глобальной фабрикой роботов;
- роботы должны стать частью повседневной жизни всего общества;
- стратегия развития отрасли должна стать самой лучшей в мире и предусматривать развитие смежных отраслей (например, интернет вещей).

Пятилетний план — основные меры:

- создание частно-государственного партнёрства «Инициатива революции роботов»;
- развитие технологий робототехники;
- участие в выработке глобальных стандартов;
- создание зон тестирования роботов;
- развитие кадрового потенциала;
- регуляторная реформа;
- развитие конкурсов и грантов;
- проведение робоолимпиады — 2020.

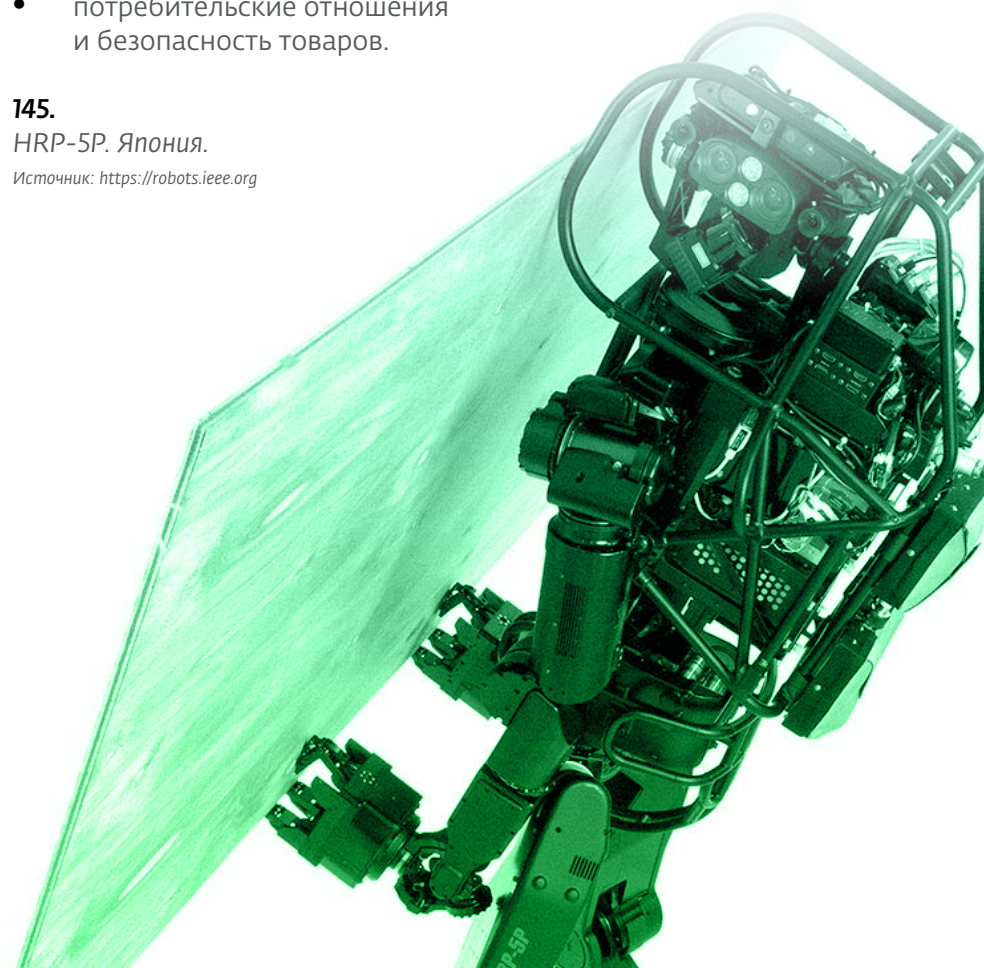
В главе 6 стратегии содержится указание на отрасли и законы, в которых требуется корректировка регулирования. Это, в частности:

- выделение и использование специального радиочастотного спектра;
- медицина и страхование;
- транспорт и дорожное движение;
- использование дронов;
- общественная инфраструктура;
- потребительские отношения и безопасность товаров.

145.

HRP-5P. Япония.

Источник: <https://robots.ieee.org>



1.4. США



Хотя страна является одним из лидеров по внедрению промышленных роботов и производству сервисных, нормативное регулирование отрасли является достаточно фрагментарным и специфичным. Это обусловлено спецификой правовой системы.



Во-первых, ряд вопросов разрешается на уровне отдельных штатов. Во-вторых, спорные ситуации решаются не через доработки законодательства, а с применением старых или даже через создание новых судебных прецедентов. В США судебные решения могут содержать нормы права. Поэтому не менее нескольких десятков старых прецедентов успешно применяются к отношениям с участием роботов.

«Национальная робототехническая инициатива», версия 2.0¹⁵⁹

Наиболее известной программой развития робототехники в США является «Национальная

робототехническая инициатива». В большей степени данная программа представляет собой план финансирования конкретных проектов. Инициатива интегрирует предложения различных государственных ведомств США по финансированию исследований. Документ готовит Национальный научный фонд (NSF), который агрегирует предложения таких правительственных органов, как NASA, Департамент обороны, Департамент энергетики, Департамент сельского хозяйства, Национальный институт здоровья и некоторых других. Данный документ является ярким примером межведомственного взаимодействия для финансирования и реализации робототехнических проектов.

«Дорожная карта развития робототехники в США», 2009¹⁶⁰

Более концептуальный подход к развитию отрасли прослеживается в «Дорожной карте развития робототехники». Этот документ подготовлен экспертами из ведущих университетов США.

Структура дорожной карты выстроена вокруг направлений, где планируется развивать робототехнику или отдельные виды роботов:

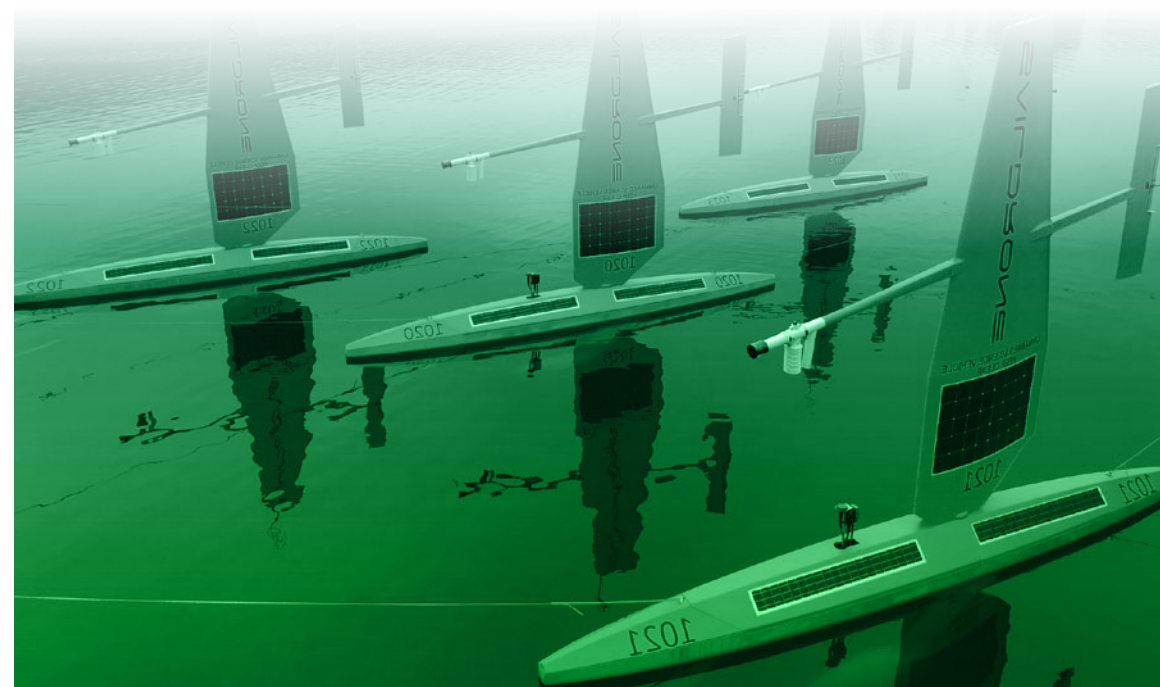
- промышленные роботы;
- сервисные и потребительские роботы (доставка, инфраструктура, телеприсутствие, развлечения, автоматизированный транспорт);
- роботы, применяемые в сфере здравоохранения и ухода;
- общественная безопасность;
- наземные и космические роботы, роботы-исследователи и роботы для мониторинга, сельскохозяйственные роботы и т. д.

Отдельные главы посвящены:

- развитию технологий и компонентов робототехники;
- экономическим и социальным последствиям внедрения роботов;
- развитию необходимой инфраструктуры.

Авторы дорожной карты выражают озабоченность тем, что действующие законы тормозят развитие рассматриваемой отрасли и указывают на те проблемы, которые требуют законодательного регулирования. К ним относятся вопросы обеспечения безопасности и распределения ответственности, страхования, защиты конфиденциальной информации.

146. Sail Drone. USA



Источник: <https://www.saildrone.com/gallery>

1.5. Корея



Южная Корея является в настоящий момент лидером по показателю плотности роботизации. Одним из сопутствующих этому факторов, по оценке экспертов, стала разработка первого комплексного закона о регулировании роботов. Он направлен на стимулирование инвестиций в отрасль и обеспечивает не менее чем двухкратный рост индустрии.



Закон «О содействии развитию и распространению умных роботов»¹⁶¹

Закон «О развитии и распространении умных роботов» был принят в конце 2008 г. и является одновременно своеобразной стратегией развития отрасли. Закон вводит категорию: **компания, инвестирующая в умных роботов**. Эти компании создаются при условии одобрения министра торговли, промышленности и энергетики на срок до 10 лет. Не менее 50% своего капитала такая компания должна использовать для инвестиций в развитие умных роботов или приобретение прав участия в соответствующих фирмах.

Такие компании получают налоговые преимущества от государства. Более того, государство (в обмен на некоторые постоянные сборы) принимает на себя обязанность выплатить такой компании определённую компенсацию возможных убытков, которые могут возникнуть в процессе её деятельности.

Кроме того, законом на правительство возложена обязанность каждые 5 лет разрабатывать основной план обеспечения эффективного достижения целей настоящего закона по развитию и распространению умных роботов. Каждый основной план должен включать в себя следующие положения:

01. основное направление развития и распространения умных роботов;
02. среднесрочные и долгосрочные цели развития и распространения умных роботов;
03. положения, связанные с развитием умных роботов и содействием соответствующим научным исследованиям, а также направленные на создание основ реализации данных процессов;
04. положения, связанные с созданием объектов инфраструктуры, необходимой для развития и распространения умных роботов;
05. положения, связанные с практической реализацией хартии этики умных роботов;
06. положения, связанные с направлением реализации проектов центральных административных учреждений по умным роботам.

Кроме того, правительство обязано создать систему классификации умных роботов и обеспечить сбор и ведение отраслевой статистики в соответствии с этой классификацией с целью эффективного развития и распространения технологии создания умных роботов. В свою очередь министр торговли, промышленности и энергетики обязан ежегодно проводить детальные аналитические исследования отрасли. Для этого он имеет право обратиться к любой коммерческой организации, любой другой организации или юридическому лицу, имеющим

отношение к индустрии умных роботов, с запросом о раскрытии информации или предоставлении мнения такого лица по конкретному вопросу.

Также закон содержит развёрнутый раздел по созданию особых зон развития — «Роботлэнд». В таких зонах государство частично финансирует создание объектов инфраструктуры. Что более важно, вводится режим **одного окна**. Получение разрешения на создание такой зоны и реализацию проекта в ней заменяет собой огромное количество согласований (более двух десятков). При этом для создателей такой зоны существуют особые правила пользования земельными участками третьих лиц. Если не удаётся договориться о праве пользования конкретным участком, лицо, реализующее проект, даже вправе обратиться в суд в порядке изъятия земли для общественных нужд.

Одновременно с этим закон содержит уголовно-правовые нормы, а также нормы, разграничивающие компетенцию и ответственность государственных органов и местных властей в связи с реализацией административной и правовой реформы.

Среди прочего данный закон определяет понятие **умный робот**, ответственность государственных и муниципальных органов власти за ведение расходов по совершенствованию и развитию рынка робототехники.

1.6. Иные страны и выводы

На сегодняшний день национальное законодательство о роботах находится в стадии становления. По меньшей мере в нескольких десятках стран существуют нормативные акты, прямо направленные на регулирование роботов — отдельных разновидностей или индустрии в целом.

- «Стратегическая повестка развития робототехники в **Нидерландах**» (2012)¹⁶². Этот документ является классическим — и одним из первых — примером стратегии развития индустрии.
- «Робототехника в сфере услуг по уходу: Дорожная карта **Финляндии**» (*Robotics in Care Services: A Finnish Roadmap*) (июнь 2017)¹⁶³. Документ, направленный на развитие одной конкретной сферы применения роботов. В перспективе 5 и 10 лет рассматриваются ключевые тенденции, проблемы и перспективы развития этого вида роботов. Также затрагиваются и проблемы ответственности и этики.
- «Изменения в Закон **Эстонии** о дорожном движении» (2017)¹⁶⁴ (закон о роботах-курьерах). Закон, позволяющий использовать самодвижущихся роботов-курьеров для доставки грузов и, соответственно,

участвовать в дорожном движении. Закон рассматривает роботов-курьеров в качестве механического транспортного средства, а также вводит несколько ключевых понятий и основных требований к роботам-курьерам, их владельцам, а также эксплуатации.

- Закон «О внесении изменений в Закон о дорожном движении в **Германии**» от 16.06.2017¹⁶⁵ (закон о высокоавтоматизированных автомобилях). Закон разрешает полноценно использовать на дорогах высокоавтоматизированные автомобили, в которых водитель не обязан постоянно следить за движением и может делегировать часть функций управления автопилоту. Взамен такие автомобили должны быть оснащены чёрным ящиком, а страховая сумма ответственности за возможный причинённый вред удвоена.

Как будет показано далее, можно выделить несколько направлений законодательного регулирования в мире.

- Робототехника как часть общей стратегии развития экономики государства.
- Национальная стратегия развития робототехники.
- Комплексное регулирование или регулирование отдельных видов роботов.

147.
*Подводный беспилотник
INDYMO.*
Нидерланды
Источник: <https://www.indymo.nl>

148.
*Робот для очистки
корпуса кораблей
Fleet Cleaner.*
Нидерланды
Источник: <https://www.fleetcleaner.com>

149.
*Мобильный
робот ExR-1.*
EXrobotics,
Нидерланды
Источник: <https://exrobotics.global>



1.7. Россия



На сегодняшний день в России отсутствует комплексное регулирование сферы робототехники. В стране отсутствует стратегия развития отрасли и практически полностью отсутствует отраслевое законодательство. Выделим некоторые ключевые документы.



Стандарты

В России действует несколько десятков национальных стандартов в сфере робототехники. 80% из них посвящены промышленным роботам, и лишь несколько стандартов относятся к другим видам роботов или к робототехнике целиком:

- ГОСТ Р ИСО 8373-2014 «Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения» (с 01.01.2016);
- ГОСТ Р 60.0.0.2-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Классификация» (с 01.01.2018);

- ГОСТ Р 60.2.2.1-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для роботов по персональному уходу» (01.01.2018);
- ГОСТ Р 60.0.2.1-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Общие требования по безопасности» (01.01.2018).

Цифровая экономика РФ

Национальный проект «Цифровая экономика РФ» предусматривает, что в 2019 г. должен быть принят федеральный закон, регулирующий

правоотношения в сфере киберфизических систем и в отдельных смежных сферах. Этот закон должен заложить необходимую правовую основу для законодательства в сфере робототехники.

При этом в 2018 г. для создания необходимой теоретико-правовой основы такого законопроекта было проведено «Исследование в области развития законодательства о робототехнике и киберфизических системах», в том числе в части определения понятия киберфизических систем, порядка ввода их в эксплуатацию и гражданский оборот, определения ответственности¹⁶⁶. В исследовании были обобщены ключевые правовые проблемы в этой сфере, а также сформулированы предложения по дальнейшему развитию законодательства.

Законы и подзаконные акты

Хотя сам термин «роботы» или «робототехника» упоминаются в самых различных документах стратегического планирования, а также в ряде подзаконных актов. Они не определены и практически не фигурируют ни в одном федеральном законе.

Отраслевое регулирование робототехники по существу ограничено минимальным профильным законодательством в отдельных сферах, например на транспорте.

- Постановление Правительства РФ «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования высокоавтоматизированных транспортных средств» (26 ноября 2018 г. №1415).
- Федеральный закон от 30 декабря 2015 г. № 462-ФЗ «О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации в части использования беспилотных воздушных судов, устанавливающий минимальное базовое регулирование использования дронов».

Следует признать, что основное регулирование данной сферы находится в перспективе.

2. Основные направления нормативного регулирования

Результаты анализа существующего нормативного опыта позволяют выделить несколько направлений нормативного регулирования робототехники. Пожалуй, наиболее принципиально разделить их на две большие сферы.

Рисунок 150. Основные направления нормативного регулирования

Правовое регулирование отношений в связи с роботами



Стимулирование развития робототехники



2.1. Стимулирование развития отрасли

Данное направление является самым распространённым. Акты, направленные на стимулирование развития отрасли, составляют, по нашей оценке, до 80% существующего мирового нормативного опыта. Это предполагает создание максимально комфортных условий для развития индустрии с помощью правовых инструментов.

Основные способы

01. Робототехника как часть общей стратегии развития экономики.

Робототехника может быть заявлена в качестве сквозной технологии в общей программе модернизации экономики. Примеры в некоторых странах:

- **Германия, «Индустрия 4.0».** Робототехника рассматривается как часть умного производства¹⁶⁷.
- **«Стратегия ОАЭ в Четвёртой промышленной революции».** Робототехника является одной из сквозных технологий.
- **«Цифровая экономика РФ».** Робототехника определена в качестве одной из сквозных технологий.

02. Самостоятельные дорожные карты или стратегии развития робототехники.

Такие стратегии являются основными документами стратегического планирования. Они могут быть подготовлены государством либо созданы экспертной группой на основе частно-государственного партнёрства.

Примеры в отдельных странах:

- Нидерланды — «Стратегическая повестка развития робототехники» (2012);
- Великобритания — «RAS 2020, национальная стратегия для робототехники» (2014)¹⁶⁸;
- Китай — «План развития робототехнической промышленности» (2016–2020);
- «Инициативы Франции в области робототехники» (2013)¹⁶⁹;
- Япония — «Новая стратегия роботов» (2015);
- «Дорожная карта развития робототехники в США» (2000).

2.2. Правовое регулирование отношений с использованием роботов

1. Создание комплексных актов

Предполагает создание правовой основы для регулирования отраслей. Прежде всего речь о комплексном регулировании. Оно должно учитывать весь спектр отраслей, которые будут затронуты роботизацией, и, соответственно, весь спектр правовых проблем. Самым ярким примером такого комплексного подхода являются **«Резолюция 2015/2103 (INL). Нормы гражданского права о робототехнике» (2017)**. В этом документе поднимается весь спектр правовых проблем, связанных с развитием робототехники.

Примером комплексного, хотя и достаточно специфического регулирования является Закон Южной Кореи **«О содействии развитию и распространению умных роботов» (2008 г.)**. Данный документ предполагает создание благоприятных условий для развития отрасли, одновременно являясь полноценным актом непосредственного действия.

2. Отраслевое регулирование

Как правило, охватить весь спектр правовых проблем одним базовым актом невозможно из-за специфики конкретных видов роботов. Все они часто требуют довольно специфического регулирования. На настоящий момент самым распространённым регулированием являются сферы беспилотных автомобилей и летательных аппаратов, а также промышленные роботы и некоторые разновидности сервисных:

- **Германия** — Закон **«О внесении изменений в Закон о дорожном движении»** от 16.06.2017;
- **Финляндия** — **«Робототехника в сфере услуг по уходу: Дорожная карта Финляндии» (Robotics in Care Services: A Finnish Roadmap)** (июнь 2017)¹⁷⁰;
- **Италия** — **«Постановление Министерства инфраструктуры и транспорта»** от 28 февраля 2018 г.,¹⁷¹ направленное на регулирование тестирования беспилотных автомобилей;
- **«Изменения в Закон о дорожном движении» (2017)¹⁷²** (так называемый **закон о роботах-курьерах**).

Представляется, что в ближайшее время будут появляться специфические акты законодательного регулирования применительно к следующим видам роботов:

- беспилотный транспорт;
- подводные роботы;
- бытовые роботы;
- боевые роботы;
- медицинские роботы;
- персональные роботы;
- социальные роботы.

Наконец, до появления специфических норм к роботу как продукту применяется отраслевое законодательство. Так, в ЕС к роботам применяется целый ряд директив:

- Директива **об ответственности за продукты с браком**¹⁷³;
- Директива **о безопасности продукции**¹⁷⁴;
- Директива **по машинному оборудованию**¹⁷⁵ (промышленные роботы);
- Регламент **о медицинском оборудовании**¹⁷⁶ (медицинские роботы) и т. д.

Большой пласт отраслевого регулирования составляют национальные и международные стандарты. Например:

- требования по безопасности, предъявляемые к промышленным роботам *EN ISO 10218-1:2011* (англ. *Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots*) и *EN ISO 10218-2:2011* (англ. *Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Safety of Robot integration*)¹⁷⁷;
- требование по безопасности, предъявляемое к роботам, оказывающим помощь в уходе за больными *EN ISO 131482:2014* (англ. *Robots and robotic devices — Safety requirements for personal care robots*)¹⁷⁸.

3. Проведение экспертных (как правило, правовых) исследований относительно направлений регулирования и существующих правовых проблем

Наконец, одним из самых распространённых подходов к проблеме правового регулирования робототехники является проведение научного исследования на этот счёт. Такое исследование, как правило, предваряет подготовку законодательства.

- Исследование «**Индустрия 4.0 в Чешской Республике**»¹⁷⁹. Киберфизические системы, интеллектуальные системы, а также робототехника рассматриваются в качестве одних из главных сфер для исследования.
- Исследование «**Робототехника в Нидерландах**» (2016)¹⁸⁰. Детальный документ, определяющий состояние и перспективы развития робототехники в стране.
- Исследование «**Робототехника в Австрии. Краткое исследование — перспективы развития и политические проблемы**» (2017)¹⁸¹.
- ЕС. Исследование в рамках проекта «**Робоправо: Руководство о регулировании робототехники**» (2014)¹⁸².
- ЕС. Научное исследование «**Этические аспекты киберфизических систем**» по заказу СТОА (2016)¹⁸³. Данный документ является одним из первых правовых исследований этой проблематики на уровне Европейского парламента.
- Россия. «**Исследование в области развития законодательства о робототехнике и киберфизических системах, в том числе в части определения понятия**

киберфизических систем, порядка ввода их в эксплуатацию и гражданский оборот, определения ответственности».

3. Основные правовые проблемы робототехники

И зарубежные, и иностранные правоведы в целом сходятся в том, что развитие робототехники становится определённым вызовом для правовой системы. Специфика роботов действительно поднимает определённый пласт юридических вопросов, которые возникают в обществе в связи с активным развитием этой технологии. В правовой науке их обозначают термином «**робоправо**».

Европейский проект *Robolaw*¹⁸⁴ посвящен комплексному исследованию правовых проблем робототехники. Учёные так же всё чаще оперируют термином «робоправо».

Выделяются разные правовые аспекты данной технологии. Мы остановимся на самых популярных проблемах, обсуждаемых юристами в контексте развития робототехники¹⁸⁵.

3.1. Понятие работа и смежных терминов

Что такое робот? Данный вопрос имеет важное значение для регулирования. Слишком широкое определение не позволит отграничить роботов от иных механизмов (например, кофеварок). Слишком узкое, напротив, не позволит охватить весь широкий спектр разновидностей устройств, которые обычно называются роботом (например, робот-пылесос, промышленный робот и робот-игрушка).

Кроме того, некоторые разработки традиционно называются роботами, но зачастую не являются даже реальными механизмами (например, поисковый робот; торговый робот — все они не более чем сетевые алгоритмы).

Наконец, существуют смежные с термином «робот» категории: роботизированное устройство, андроид, киборг, наноробот, беспилотная машина, дрон, искусственный интеллект и т. д.

В чём заключается причина такой терминологической путаницы? Подавляющее большинство терминов робототехники пришло

к нам из научной фантастики. Как следствие, одно из самых распространённых определений слова «робот» вполне логично: сложно сказать точно, что это, но каждый из нас определённо сможет узнать робота, когда его увидит¹⁸⁶.

- Ефремова Т.Ф. Новый словарь русского языка. Толково-словообразовательный. М.: Русский язык, 2000. Робот — это автоматическое устройство с антропоморфным действием, которое частично или полностью заменяет человека при выполнении работ в опасных для жизни условиях или при относительной недоступности объекта¹⁸⁷.
- Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1969–1978. (Чешск. *robot*, от *robota* — подневольный труд, *rob* — раб). Машина с антропоморфным (человекоподобным) поведением, которая частично или полностью выполняет функции человека (иногда животного) при взаимодействии с окружающим миром¹⁸⁸.

Действующий уже несколько лет в России **ГОСТ Р ИСО 8373-2014 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения** определяет термин «робот» так:

- приводной механизм, программируемый по двум и более осям, имеющий некоторую степень автономности, движущийся внутри своей рабочей среды и выполняющий задачи по предназначению;
- в **ГОСТ** также даются определения терминам **промышленный робот** — автоматически управляемый, перепрограммируемый, многоцелевой манипулятор, программируемый по трём и более осям (4.3);
- **обслуживающий робот** — робот, выполняющий полезную работу для людей и оборудования, исключая промышленные задачи по автоматизации;
- **разумный робот; робот с элементами искусственного интеллекта** — робот, выполняющий работу путём считывания данных из окружающей среды, взаимодействия с внешними источниками и адаптации своего поведения;
- **робототехника** — наука и практика разработки, производства и применения роботов.

Один из самых продвинутых и оправданных подходов к проблеме терминологии связан с отказом от создания универсального

определения термина робот. Вместо этого выделяется некоторый набор критериев, соответствие которым позволяет категоризировать такое устройство, как робот.

Этот подход впервые был научно обоснован целым рядом учёных и особую известность получил благодаря авторам исследования в рамках европейского проекта *Robolaw*. А в докладе о регулировании робототехники, выполненного в рамках проекта «Регулирование робототехники — вызов Европе» несколькими годами позже, пришли к схожим выводам¹⁸⁹. Вместо общего определения предлагается описывать различные критерии, такие как: уровень автономии, выполняемая функция; отношение к окружающей среде и т. д.

По этому же пути пошли авторы исследования, проведённого под эгидой ЮНЕСКО¹⁹⁰. Они предложили выделить следующие четыре атрибута робота:

- 01.** мобильность;
- 02.** интерактивность (обеспечиваемая датчиками и механизмами, собирающими соответствующую информацию из окружающей среды и позволяющими роботу воздействовать на эту среду);

03. обмен информацией (обеспечиваемый компьютерными интерфейсами или системами распознавания голоса и речи);

04. автономия (т. е. способность думать для себя и принимать собственные решения для воздействия на окружающую среду, без прямого внешнего контроля).

Такой критериальный подход представляется наиболее оправданным. Создание универсального определения не позволит охватить весь спектр разновидностей роботов — как существующих, так и перспективных.

Ключевые характеристики робота:

- это прежде всего искусственный **механизм, имеющий физическое начало (а не алгоритм)**;
- он обладает минимальной степенью **автономности действий**, что обеспечивается за счёт целого ряда иных характеристик, которые также могут являться и (за некоторыми исключениями) являются характеристиками робота;
- **программируемость**, которая включает в себя **выполнение роботом определённых для него задач по предназначению**;

- **возможность восприятия окружающей среды**, которая может обеспечиваться датчиками и сенсорами;
- **взаимодействие с окружающей средой**, включая пользователя;
- **наличие привода**, который обеспечивает физическое функционирование (как правило, какую-либо двигательную активность) робота.

Роботов часто называют киберфизическими системами. Точного определения этого термина также нет. Но Национальный институт стандартов и технологий США (который, предположительно впервые ввёл в оборот этот термин) определяет киберфизические системы как умные системы, охватывающие вычислительные и эффективно интегрируемые физические компоненты, тесно взаимодействующие между собой¹⁹¹. В таком определении к киберфизическим системам относятся и роботы, и беспилотный транспорт, и роботизированные устройства.

3.2. Ответственность за причиняемый роботами вред

Самая популярная правовая проблема связана с определением ответственности за причиняемый роботом вред. Проблема ответственности действительно является одной из самых сложных применительно к правовым аспектам развития робототехники.

Это связано с рядом факторов. Во-первых, институты ответственности могут иметь отдельные нюансы для разных категорий роботов, в зависимости от степени их общественной опасности, контролируемости или способности к обучению. Во-вторых, в ряде случаев, в принципе, трудно восстановить фактические обстоятельства причинения вреда. В-третьих, одна и та же ситуация может получить разное решение с точки зрения конкретной юрисдикции. Поэтому национальные особенности конкретной правовой системы часто не позволяют учитывать существующий опыт других стран.

Как следствие, среди юристов существует большое многообразие точек зрения на этот вопрос. А сама проблема является своеобразной витриной всей проблемы регулирования роботов¹⁹². Если обобщить, существуют следующие возможные подходы к решению проблемы.

01. Полное освобождение кого-либо от ответственности за действия робота. Например, со ссылкой на непредсказуемые действия полностью автономных роботов как на обстоятельства непреодолимой силы.

02. Частичное освобождение от ответственности. Моделью, близкой к полному освобождению от ответственности, является освобождение от какой-либо ответственности за действия роботов конкретного лица при одновременной выплате пострадавшим компенсации вреда из различных источников.

У этого подхода могут быть различные вариации. Например, производитель или собственник могут освободиться от ответственности только в том случае, если совершат необходимые действия для **страхования соответствующих рисков** либо примут участие в системе **компенсационных резервных фондов**.

03. Ответственность по вине. Ответственность за действия робота наступает только в зависимости от вины конкретного субъекта. Именно в этой модели возможно наибольшее количество самых различных вариантов:

- если робот причиняет ущерб, который вызван дефектом его конструкции, ответственность может нести **производитель**;

- если происшествие произошло из-за сбоя в работе, ответственность несёт его **разработчик**;
- если робот является самообучаемым, ответственность несёт тот, кто **внёс наибольший вклад в обучение**;
- если робот выполнял конкретные команды, ответственность несёт **оператор или пользователь**, такие команды предоставивший, и т. д.

В зависимости от специфики конкретной правовой системы в этом подходе возможны различные сочетания ответственности, например солидарная ответственность нескольких субъектов.

Кроме того, решение вопроса может варьироваться в зависимости от того, является ли пользователь и/или пострадавший профессионалом в определённой области применения робота.

- 04. Ограниченная безвиновная ответственность** производителя/собственника/иного лица. В этой модели за действия робота отвечает **третье лицо**, причём ответственность является безвиновной, но всё же ограниченной. Условием ограниченной ответственности могут быть, например, страхование рисков использования робота, пополнение

компенсационного резервного фонда, выполнение иных действий (обеспечение робота чёрным ящиком, красной кнопкой для оперативного выключения, предоставления информации о его работе и т. д.).

- 05. Полноценная безвиновная ответственность** за действия робота. Предполагается, что определённое лицо по общему правилу считается отвечающим за действия роботов. В такой модели наиболее часто ответственными лицами будут выступать **производители** (особенно в потребительских отношениях) и владельцы роботов, признаваемых источником повышенной опасности.
- 06.** Подход, предполагающий наделение роботов правосубъектностью (правами и обязанностями, статусом электронной личности), что, соответственно, позволит им нести **личную ответственность**.
- 07. Смешанный режим ответственности.** Он предполагает, что для разных роботов применяются разные режимы ответственности. Это предполагает ранжирование роботов по степени их опасности.

3.3. Проблема принадлежности прав на интеллектуальную собственность

Другая классическая правовая проблема робототехники: кому принадлежат авторские права на созданные роботами произведения? И кого в принципе следует признавать их

151. Портрет Эдварда Белами, нарисованный искусственным интеллектом, проданный за \$432 000

241



авторами? Эта проблема является реальной уже сейчас, но она выходит за рамки робототехники и находится на стыке с технологиями искусственного интеллекта. Создаваемый роботом творческий объект — музыкальный трек, рисунок, текст, любой объект внешнего мира — обусловлен заложённой в робота компьютерной программой. И в этом отношении проблема принадлежности прав связана с компьютерным творчеством.

В праве **Великобритании** правообладателем произведения, созданного посредством компьютера, признаётся то лицо, которое организовало необходимые для создания такого произведения подготовительные действия. В российском праве, также как и в подавляющем большинстве других стран, пока отсутствует специальное законодательство на этот счёт.

Поэтому могут существовать самые разные варианты принадлежности права на созданное роботом произведение:

- 01.** робот является инструментом, и все права принадлежат человеку, который его применил. Например, пользователю или оператору;
- 02.** все права принадлежат тому, кто является создателем робота;

Источник: <https://www.theguardian.com>

- 03.** произведения, созданные роботом, вообще не получают правовой охраны или автоматически переходят в общественное достояние;
- 04.** интеллектуальными правами наделяется сам робот. Он таким образом получает статус электронной личности;
- 05.** права охраняются особым образом в соответствии со специально разработанной для этого правовой конструкцией (например, специальная разновидность смежных прав).

Выбор конкретного правового решения остаётся открытым.

3.4. Принципы регулирования робототехники

В значительно меньшей степени по сравнению с другими правовыми проблемами исследована проблематика возможных принципов регулирования робототехники. Это основные руководящие начала, которые могли бы применяться ко всем категориям роботов либо их специфическим разновидностям. Также такие правила могли бы регламентировать определённый этап оборота робота как продукта (например, проектирование или использование клиентом).

Подобные правила в России пока отсутствуют. Аналогичным образом единого набора таких принципов нет в законодательстве других стран. В то же время на частном или экспертном уровне высказываются предложения по созданию такого набора правил.

- «Модельная конвенция о робототехнике и искусственном интеллекте», 2017;
- В выполненном в рамках программы «Цифровая экономика РФ» исследовании в области развития законодательства о робототехнике и киберфизических системах авторским коллективом выделено 25 возможных принципов регулирования.

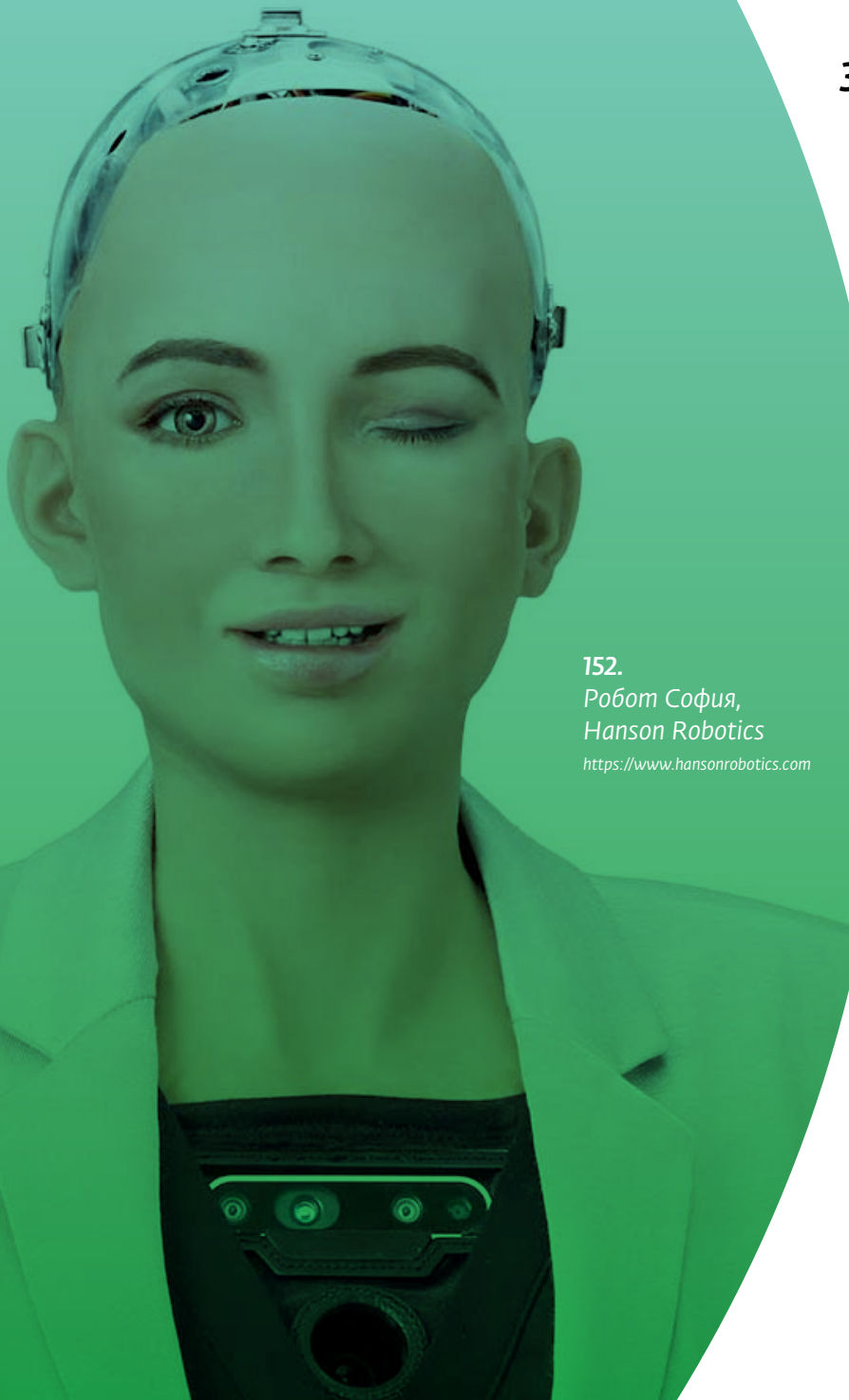
Вот некоторые из них:

- запрет причинения вреда по инициативе роботов. По общему правилу не допускается создание роботов, способных по собственной инициативе целенаправленно причинять человеку вред. Условия, порядок и последствия причинения вреда имуществу человека определяются применимым законодательством;
- робот как помощник человека, а не как замена человека. Данный принцип воплощает в себе требование о том, что технологии

робототехники должны разрабатываться только для целей дополнения возможностей человека, а не для того, чтобы заменить его. Системы ИИ должны разрабатываться и работать таким образом, чтобы быть совместимыми с идеалами человеческого достоинства, его прав и свобод, многообразия культур;

- возможность осуществления контроля робота со стороны человека. При разработке должна быть предусмотрена возможность контролирования действий робота со стороны человека;
- черный ящик. Роботы должны постоянно фиксировать и хранить информацию об условиях своего функционирования и совершаемых ими действиях. Данное требование наиболее чётко закреплено в нормативных документах применительно к высокоавтоматизированным транспортным средствам. Оно необходимо прежде всего для разрешения вопросов об ответственности на случай причинения вреда жизни или здоровью человека либо его имуществу в результате действия таких транспортных средств. В то же время данное правило может быть интерпретировано и в более широком смысле и распространяться на другие разновидности роботов помимо высокоавтоматизированных транспортных средств;
- красная кнопка. Роботы, физически взаимодействующие с людьми и не находящиеся под прямым управлением человека, должны иметь функцию моментального или аварийного отключения по требованию;
- конструктивная безопасность. Актуально для всех типов роботов. Конструктивная безопасность включает в себя защиту пользователей и третьих лиц на случаи аварийных ситуаций, а также необходимость прохождения тестирования и сертификации роботов как продуктов на предмет конструктивной безопасности;
- уважение человеческого достоинства. Человек не должен умалять человеческое достоинство своим обращением с роботами.

Часть из этих принципов может быть внесена в регулирование применительно к отдельным категориям роботов.



152.
*Робот София,
Hanson Robotics*
<https://www.hansonrobotics.com>

3.5. Права роботов

Вопрос о том, является ли робот электронной личностью, впервые был поднят, пожалуй, ещё писателями-фантастами. Даже создатель слова «робот» Карел Чапек в пьесе *R.U.R.*, по сути, поднимает вопрос о правах роботов.

Неудивительно, что вопрос о наделении роботов правами и обязанностями (то есть правосубъектностью) стал одним из самых остро дискуссионных. У него есть большая этическая и юридическая подоплёка.

На законодательном уровне в настоящий момент эту проблему уже поднял Европейский парламент в Резолюции N 2015/2103(INL), её обсуждают в Эстонии, а Саудовская Аравия объявила о присвоении гражданства роботу Софии.

Обобщённо представить существующие подходы к проблеме можно с помощью следующей таблицы. Подходы обобщены на основе таблицы, приведённой в «Исследованиях в области развития законодательства о робототехнике и киберфизических системах» (автор изначальной таблицы — к. ю. н. Владислав Архипов).

Таблица 11. Подходы к решению проблемы о наделинии роботов правами

№	Подход	Содержание подхода	Преимущества	Недостатки
01	<i>Status quo</i> : роботы продолжают рассматриваться как объекты права	К роботам применяется комплекс только известных норм действующего права (роботы — продукт)	<ul style="list-style-type: none"> • Не требуются разработка и создание принципиально новых норм • Модификации правовых подходов могут осуществляться точно 	<ul style="list-style-type: none"> • Не разрешаются проблемы распределения ответственности • Действующие нормы изначально не предназначены для регулирования и разрешения сложных ситуаций и конфликтов, связанных с использованием роботов
02	Концепция робот как животное	К роботам по аналогии применяется законодательство о домашних животных либо по аналогии разрабатывается отдельный комплекс норм, основанный на концепции робот как животное	<ul style="list-style-type: none"> • Действия животных также автономны • Робот остаётся имуществом (в большинстве правовых порядков животные приравниваются к имуществу) 	<ul style="list-style-type: none"> • Многие нормы законодательства о животных изначально не предназначены для не биологических форм жизни • Правовой режим животных не учитывает проблемы информационной безопасности, существование правообладателей и разработчиков и т.д.
03	Концепция робот как юридическое лицо	Подход основан на теории фикции юридического лица и предполагает применение либо разработку по аналогии законодательства о юридических лицах	<ul style="list-style-type: none"> • С доктринальной и практической точек зрения подход не требует существенного пересмотра правовой системы • Потенциально данный подход может упростить случаи разрешения юридических конфликтов, связанных с применением норм о юридической ответственности 	<ul style="list-style-type: none"> • Наделиние робота правовым статусом, аналогичным статусу юридического лица, может использоваться для ухода от реальной ответственности владельцев или разработчиков робота • С этической точки зрения применение концепции робота как юридического лица может нести негативные идеологические коннотации с рабовладением
04	Концепция робот как человек	К роботам применяются нормы о физических лицах как субъектах права	<ul style="list-style-type: none"> • Приравнивание робота к человеку пока сложно оценить на предмет наличия преимуществ — по крайней мере, для человека 	<ul style="list-style-type: none"> • Не удовлетворяется ряд существенных критериев правосубъектности • На данный момент роботы или ИИ, которые были бы способны рассматриваться как аналог реального человека, в принципе отсутствуют • Требуется переосмысление базовых ценностей общества
05	Концепция робот как электронное лицо (агент) — новый вид субъекта права	Разработка принципиально новой юридической конструкции, которая предполагает разумно ограниченную правосубъектность нового вида для роботов и ИИ	<ul style="list-style-type: none"> • Исключаются дискуссии о реальной правосубъектности робота при условии, что данный подход будет основан на теории фикции или аналогичных подходах • Можно «с чистого листа» организовать правовое регулирование роботов и ИИ 	<ul style="list-style-type: none"> • Маловероятно, что подход будет существенно отличаться от концепции робота как юридического лица • Усложнение количества лиц, признанных правом, может повлечь возникновение новых правовых проблем и коллизий

3.6. Проблема информационной безопасности и использования больших данных

Одной из проблем, часто остающихся вне экспертных обсуждений, является использование различных данных роботами, а также их информационной безопасности. Персональные данные уже используются огромным количеством устройств по всему миру.

Роботы в своей деятельности могут собирать и использовать большое количество таких данных.

Кроме того, для ряда роботов большую ценность имеют оформленные массивы больших данных, без которых научить робота невозможно. Всё это ставит вопрос о порядке их использования.

В России, как и во многих странах мира, этот вопрос специального регулирования пока не имеет.

Ещё большую значимость имеет проблема информационной безопасности. Как правило специальных требований на этот счёт тоже пока нет. Однако по-настоящему значительная угроза общественным отношениям таится в первую очередь здесь. С проникновением роботов во все сферы жизнедеятельности эта проблема станет ключевой.

3.7. Применение роботов в военных целях

Военные роботы являются традиционно одной из самых распространённых разновидностей. Военная робототехника является хорошо финансируемой отраслью, а перспективные военные разработки могут применяться и для гражданских нужд.

Вопрос о регулировании военных роботов был поднят ещё в 2013 г. в докладе Специального докладчика ООН Кристофа Хейнса¹⁹³. Хейнс сделал вывод о том, что, если слишком долго оставлять этот вопрос без внимания, он в буквальном смысле будет вырван из рук человека. Кроме того, следуя по пятам проблемного применения и оспариваемых обоснований беспилотников и прицельного уничтожения, военные роботы могут серьёзно подорвать способность мировой правовой системы сохранять минимальный мировой порядок.

В связи с этим Государствам рекомендовалось:

- ввести национальный мораторий в отношении военных роботов;

- заявить в одностороннем порядке и в рамках многосторонних форумов о приверженности соблюдению норм международного гуманитарного права во всей деятельности, связанной с роботизированными системами оружия;
- применять строгие процедуры соблюдения данных норм на всех стадиях разработки таких систем;
- взять обязательство обеспечивать максимально возможную степень транспарентности применительно к своим внутренним процедурам обзора вооружений, включая параметры, используемые при испытаниях роботизированных систем.

В настоящий момент основное направление регулирования заключается в попытках приравнять военных роботов к негуманному оружию. То есть подчинить их специальной «Конвенции о запрещении или ограничении применения конкретных видов обычного оружия, которые могут считаться наносящими чрезмерные повреждения или имеющими неизбирательное действие», 1980 г. Она ограничивает либо запрещает использование специальных видов вооружения. В частности, зажигательного оружия против населения, противопехотных мин, лазерного оружия и т. д.

В поддержку запрета выступают общественные организации, в том числе *the Future Of Life Institute*, а также *Human Rights Watch*. Последняя даже опубликовала большой доклад с обоснованием необходимости запрета роботов-убийц. Ключевая мысль доклада — в том, что бесконтрольные военные роботы будут наносить большой вред гражданскому населению. Опасение вызывает и возможность их принципиального выхода из-под человеческого контроля.

Несколько десятков государств — членов ООН поддержали этот подход. Как следствие, инициирована процедура принятия поправок к конвенции о негуманном оружии. Однако целый ряд стран (среди них США, Корея, Япония, Россия и другие) пока призывают осторожно подходить к проблемам запрещения военных роботов. В этой деятельности принимает участие ряд российских экспертов, а результатами стали такие работы как «Боевые роботы: угрозы учтенные и непредвиденные»²⁰² и «Новый Бонд — машина с лицензией на убийство»²⁰³.

153.

Айзек Азимов

Источник: <https://techwire.lk>

4. Робоэтика

Робоэтика — термин, которым обозначают этические проблемы робототехники. В рамках робоэтики изучаются этические последствия внедрения роботов в жизнь человека и в общество, а также способы решения возникающих проблем. Часто этот термин характеризует отношение человека к роботам и роботизации.

У термина «робоэтика» нет устоявшегося определения. Так, в робоэтику включают и этические проблемы искусственного интеллекта. Кроме того, в западной традиции понятие *Roboethics* часто включает в себя и чисто правовые проблемы, хотя право и мораль — два разных способа регулирования человеческих отношений.

4.1. Этические законы робототехники

Классические законы робототехники были сформулированы Айзеком Азимовым в рассказе «Хоровод». Изначально их было три:

- 01.** робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинён вред;
- 02.** робот должен повиноваться всем приказам, которые даёт человек, кроме тех случаев, когда эти приказы противоречат Первому закону;
- 03.** робот должен заботиться о своей безопасности в той мере, в которой это не противоречит Первому или Второму закону.

Позднее в цикле произведений «Детектив Элайдж Бейли и робот Дэниел Оливо»¹⁹⁴ Азимов сформулировал нулевой закон.

- Робот не может причинить вред человечеству или своим бездействием допустить, чтобы человечеству был причинён вред.

Эти универсальные законы робототехники на долгое время определили подходы к проблеме робоэтики. Целый ряд официальных документов напрямую ссылаются на них.

- В преамбуле к резолюции Европарламента от 16 февраля 2017 г. 2015/2013(INL) P8_TA-PROV(2017)0051 содержится такой текст: «Создатели принимают во внимание, что три закона робототехники Азимова должны интерпретироваться как адресованные

разработчикам, производителям и операторам роботов, включая тех роботов, в которых заложена способность к самообучаемости и автономному функционированию. Эта связано с тем, что данные законы невозможно перевести в машинный код».

Законы робототехники Азимова получали неоднократное критическое осмысление, а также дорабатывались и дополнялись другими авторами. Как следствие, существует несколько десятков разрозненных сводов этических правил робототехники. Они высказывались в разное время и разными авторами.

При этом в последнее время этические законы робототехники стали объединяться с этическими законами ИИ.

- Пионером государственного подхода к проблеме робоэтики можно назвать Южную Корею. *Robot Ethics Charter* — «Этическая хартия роботов» — была анонсирована в 2007 г. Она была призвана закрепить ряд этических стандартов для разработчиков и пользователей роботов. Однако после ряда обсуждения проект был остановлен, оставив после себя несколько черновиков и вариаций.

- В 2016 г. Сатья Наделла, CEO *Microsoft*, представил 10 законов для искусственного интеллекта, в числе которых, например, правило о том, что ИИ должен быть непредвзятым, должен предотвращать непреднамеренный вред и т. д.
- В 2017 г. Европейским парламентом была предложена «Европейская хартия робототехники», ЕС, 2017.
- Также в 2017 г. была предложена «Модельная конвенция о робототехнике и ИИ»¹⁹⁵, состоящая из 43 правил и объединяющая целый ряд существующих предложений.

В 2017 г. были разработаны и приняты «Азиломарские принципы искусственного интеллекта»¹⁹⁶. На данный момент под ними поставило свои подписи свыше 3500 учёных, разработчиков, предпринимателей и экспертов. Среди них — Илон Маск, Стивен Хокинг и Рэй Курцвейл, представители *Google*, *Apple*, *Facebook*, *IBM*, *Microsoft* и т. д.

В 2016 г. Британский институт стандартов опубликовал документ «Роботы и роботизированные устройства: руководство по этическому дизайну и применению роботов и роботизированных систем». Документ был составлен несколькими учёными из разных областей, и в нём рассматриваются такие вопросы,

как ответственность за действия роботов, этически приемлемый дизайн разных видов роботов, проблема эмоциональных связей людей с роботами, излишней антропоморфизации роботов, вопросы обеспечения неприкосновенности частной жизни и т. д.

Наконец, нельзя не отметить **специальный отчёт ЮНЕСКО о робоэтике**. В этом масштабном документе 2017 г. лишь часть посвящена собственно этическим вопросам¹⁹⁷. Основные этические проблемы авторы отчётов видят в контексте следующих дискуссионных направлений:

- противостоянии идеологий техно-пессимизма и технооптимизма;
- ответственность за действия роботов;
- проблема статуса роботов, их использования в качестве человеческих агентов;
- проблема обеспечения человеческого достоинства;
- проблема конфиденциальности;
- проблема изменения ценностей общества с внедрением роботов;
- проблема непричинения вреда роботами и т. д.

4.2. Проблема вагонетки

Тяжёлая неуправляемая вагонетка несётся по рельсам. На пути её следования находятся пять человек, привязанные к рельсам. Вы можете переключить стрелку — и тогда вагонетка поедет по запасному пути. К несчастью, на запасном пути находится один человек, также привязанный к рельсам. Каковы ваши действия?

Данный мысленный эксперимент середины XX века в наше время получил массу неожиданных продолжений. Так, Массачусетский технологический университет создал целый алгоритм, названный «Машина морали»¹⁹⁸.

Пользователю предлагаются различные сценарии выбора. Они включают в себя выбор между людьми и животными, мужчинами и женщинами, пожилыми и детьми, беременными женщинами, людьми с лишним весом и т. д.

Проблема вагонетки описывает сложность этического выбора, который должен сделать робот в схожей ситуации. Как правило, дискуссии на этот счёт сводятся к тому, как должна принимать решение «бездушная» машина, не имеющая моральных императивов.

Рисунок 154. Результаты эксперимента MIT, посвященного «Проблеме вагонетки»: усредненные моральные предпочтения 1 млн. людей из разных стран.



The Moral Machine Experiment, 2018

4.3. Проблема безработицы и социального расслоения как следствия роботизации

Одним из ключевых последствий роботизации экономики является лишение множества людей существующих рабочих мест. Роботизация, по мнению ряда экспертов, способна сделать ненужной по меньшей мере половину существующих профессий. Другие специалисты отмечают, что роботизация не уничтожает, а создаёт рабочие места. А исчезающие профессии компенсируются появлением новых.

В докладе «Как автоматизация повлияет на сферу занятости?» компании PWC UK, 2018¹⁹⁹, выделяется три волны автоматизации рабочих мест, связанных с развитием технологий.

- Первая из них пройдёт в начале 2020-х и повлечёт за собой сокращение 3% рабочих мест. Она связана с алгоритмизацией элементарных рутинных процедур и профессий.
- Вторая пройдёт в конце 2020-х и будет связана с расширением сферы применения роботов. Она затронет до 20% рабочих мест.
- Наконец, к середине 2030-х третья волна роботизации затронет 30% профессий.

Рисунок 155. Возможные варианты решения проблемы роботизации экономики



Увеличение автономности роботов позволит переложить на них очень многие ответственные задачи, что, несомненно, скажется практически на всех отраслях.

В исследовании Юникредитбанка «Экономические и социальные последствия роботизации», 2016 г., отмечается, что в эпоху, когда роботы смогут выполнять широкий спектр задач, людям необходимо сконцентрироваться на своих сильных сторонах и изменении системы образования²⁰⁰.

Другой стороной этой проблемы является возможное гигантское расслоение общества, так как создатели роботов в роботизированном обществе могут составить небольшой, очень узкий, но крайне могущественный слой населения, в руках которого сконцентрирована экономическая и политическая власть.

4.4. Проблема экзистенциальных рисков сверхразума

Эта проблема обычно рассматривается философами, журналистами и публицистами (и в меньшей степени — юристами). Проблема заключается в том, что, по мнению целого ряда экспертов, сверхразум может стать едва ли не последним изобретением

человечества. Намного превосходя человечество в умственных способностях, такой сверхразум будет непредсказуем. И очевидным вариантом развития событий будет полное уничтожение человечества таким сверхразумом — если не специальное, то случайное.

Джеймс Баррат, американский документалист, описывает такой сценарий так.

- Современный суперкомпьютер работает вдвое быстрее человеческого мозга. Такая производительность стала возможна благодаря использованию ИИ: он переписывает собственную программу, в первую очередь инструкции, повышающие его способность к усвоению знаний, решению задач и принятию решений. Одновременно он отлаживает код, отыскивает и исправляет ошибки. Интеллект компьютера растет экспоненциально по круто восходящей кривой.
- Вскоре, к радости учёных, терминал, на котором отображается работа ИИ, показал, что искусственный интеллект превзошёл интеллектуальный уровень человека — универсальный человекоподобный интеллект (УЧИ; англ. *Artificial General Intelligence* — AGI). Ещё через некоторое время он стал умнее человека в десять раз, затем —

в сто. Всего за двое суток он становится в **тысячу раз** умнее любого человека, и его развитие продолжается. Учёные достигли исторического рубежа! Впервые человечество встретилось с разумом более мощным, чем его собственный, — **искусственным суперинтеллектом (ИСИ)**.

- Что происходит дальше? ИСИ в тысячу раз умнее самого умного человека, он решает задачи в миллиарды и даже триллионы раз быстрее человека. Размышления, на которые он потратит одну минуту, заняли бы у лучшего мыслителя-человека всех времен и народов много, очень много жизней. Так что на каждый час размышлений его создателей о нем, ИСИ отвечает неисчислимо большим временем, которое он может потратить на размышления о них.

Поставьте себя на место ИСИ. Представьте, что вы очнулись в узилище, охраняемом мышами. И не просто мышами, а мышами, с которыми вы можете общаться. Какую стратегию вы используете, чтобы обрести свободу? А освободившись, как будете относиться к своим вчерашним тюремщикам-грызунам, даже если узнаете, что именно они вас создали²⁰¹?...

Неслучайно *the Future of Life Institute* считает ИИ фундаментальной проблемой человечества наряду с ядерным оружием, проблемой экологии и использованием биотехнологий.

Как можно предотвратить такое развитие событий? Экспертами высказываются различные предложения, однако по существу все они являются примерами саморегулирования. Среди таких решений, например, обязательное встраивание в алгоритмы ИИ некоей красной кнопки или даже механизма, автоматически уничтожающего систему при достижении определённых порогов риска.

Вопросы регулирования сильного искусственного интеллекта являются, возможно, самым серьёзным вызовом в истории права — и человечества. Недооценивать его было бы кардинально неверно.



07

Календарь мероприятий

В разделе собраны ключевые мероприятия по робототехнике: среди них есть как саммиты и выставки с широким охватом тем, так и узкоспециализированные научные конференции. В некоторых из них примут участие сотрудники Лаборатории робототехники Сбербанка.

<p>10-13 июля 2019</p> <p>Китай Шанхай</p>	<p>China International Robot Show (CiROS)</p>	<p>Китайская международная выставка роботов (CiROS), организованная Китайской федерацией машиностроения, China Robot Industry Alliance и SMEPO Exhibition Co., Ltd, является первой национальной выставочной площадкой в Китае. При поддержке IFR</p>	<p>http://en.ciros.com.cn</p>
<p>4-8 августа 2019</p> <p>Китай Тяньцзинь</p>	<p>ICMA 2019 — IEEE International Conference on Mechatronics and Automation</p>	<p>Международная конференция по мехатронике и автоматизации. Основной фокус конференции — компоненты мехатроники, системы автоматизации, разработки в области сенсорики, искусственный интеллект и нейроинтерфейсы</p>	<p>http://2019.ieee-icma.org/Home/Home.aspx</p>
<p>4-9 августа 2019</p> <p>Россия Иркутск</p>	<p>RCAR 2019 — IEEE Conference on Real-time Computing and Robotics</p>	<p>Международная конференция по робототехнике и вычислениям в режиме реального времени нацелена на продвижение разработок в следующих областях: интеллектуальной мехатронике, сенсорике, теории и практике контроля, обработке изображений, ИИ и мягкой робототехнике</p>	<p>http://ieee-rcar.org/index.html</p>
<p>9-11 августа 2019</p> <p>Малайзия Сабах</p>	<p>3rd International Conference on Robotics and Mechantronics (ICRoM 2019)</p>	<p>Третья международная конференция по робототехнике и мехатронике посвящена последним результатам исследований и разработок в области управления системами автоматизации, включая как теоретические достижения, так и практические внедрения</p>	<p>http://icrom.org</p>
<p>20-25 августа 2019</p> <p>Китай Пекин</p>	<p>World Robotics Congress (WRC 2019)</p>	<p>Всемирный робототехнический конгресс в этом году проходит по теме «Интеллектуальная экосистема для новой открытой эпохи». В рамках конгресса проводятся академические дискуссии, принимают участие робототехнические предприятия, университеты и институты для демонстрации последних достижений и прикладных продуктов в области робототехники</p>	<p>http://en.worldrobotconference.com</p>

<p>22-23 августа 2019</p> <p>Канада Нью-Брунсуик</p>	<p>MRS 2019 — International Symposium on Multi-Robot and Multi-Agent Systems</p>	<p>Международный симпозиум по мультиагентным системам, основная цель мероприятия — обмен опытом и демонстрация достижений в области группового и роевого управления робототехническими системами</p>	<p>https://robotics.cs.rutgers.edu/mrs2019/</p>
<p>2-4 сентября 2019</p> <p>Германия Вюрцбург</p>	<p>SSRR 2019 — IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics</p>	<p>Международный симпозиум по охранной и спасательной робототехнике — форум для изучения тематик безопасности и спасательной робототехники, а также обсуждения решений, необходимых для внедрения роботов и сенсорных систем в различных областях применения</p>	<p>https://ssrr2019.org/</p>
<p>4-6 сентября 2019</p> <p>Чехия Прага</p>	<p>ECMR 2019 — European Conference on Mobile Robots</p>	<p>Европейская конференция по мобильным роботам нацелена на проблематику автономных систем с междисциплинарным подходом. Темы конференции могут включать мобильных роботов, интеллектуальные машины и системы для критически важного использования, промышленного производства</p>	<p>https://ecmr2019.eu/</p>
<p>17 сентября 2019</p> <p>США Луисвилль</p>	<p>RIA Autonomous Mobile Robots</p>	<p>Первая конференция по автономным мобильным роботам нацелена на широкий круг участников, представителей логистики, производства и розничной торговли, тех, кто работает в динамичном окружении и хочет узнать, как внедрять робототехнические решения для автоматизации</p>	<p>https://robotics.org/robotics/autonomous-mobile-robot-conference</p>
<p>19-21 сентября 2019</p> <p>США Хьюстон</p>	<p>ISMCR 2019 — International Symposium on Measurement and Control in Robotics</p>	<p>Международный симпозиум по измерениям и контролю в робототехнике будет посвящён различным аспектам исследований, применениям и тенденциям робототехнических инноваций в области телероботики, симуляторных платформ и сред, мобильных рабочих машин, а также виртуальной реальности/дополненной реальности и трехмерного моделирования и симуляции</p>	<p>http://sites.ieee.org/houston/event/international-symposium-on-measurement-and-control-in-robotics/</p>

<p>30-2 сентябрь/ октябрь 2019 Великобритания Лондон</p>	<p>MINDS MASTERING MACHINES</p>	<p><i>Minds Mastering Machines [M³] призван показать, как быстрый прогресс в инфраструктурах, библиотеках и приложениях, а также в базовом или распределенном оборудовании позволяет традиционным предприятиям и организациям, и крупным и малым, получать доступ к одним и тем же инструментам и методикам, что и элитные академические исследователи и резиденты Силиконовой долины</i></p>	<p>https://mcubed.london</p>
<p>1-3 октябрь 2019 США Санта-Клара</p>	<p>ROBOBUSINESS 2019</p>	<p><i>RoboBusiness уже 15 лет является местом, где игроки индустрии ищут технологические достижения, бизнес-стратегию и кейсы внедрения данных роботизированных решений. Аудитория RoboBusiness состоит из тех, кто является ветераном экосистемы робототехники, и новичков, ищущих свой путь к успешной разработке продуктов и бизнес-инноваций</i></p>	<p>https://robobusiness.com</p>
<p>7-10 октября 2019 Россия Казань</p>	<p>DESE 2019 — Developments in eSystems Engineering 2019 Robotics, Sensors and Industry 4.0</p>	<p><i>DESE 2019 — двенадцатая по счету международная конференция по разработке электронных систем. Основная тема в 2019 году — робототехника, датчики, наука о данных и промышленность 4.0. Помимо этого на конференции будут доклады о разработке в области IoT, Smart City, Smart Health, Smart Living и Smart Home</i></p>	<p>https://dese.org.uk/developments-in-esystems-engineering-2019/</p>
<p>9-12 октября 2019 Республика Корея Сеул</p>	<p>Robot World 2019</p>	<p><i>Robot World 2019 — конференция по робототехнике, которая организована Корейской ассоциацией робототехнической индустрии при поддержке Министерства торговли, промышленности и энергетики. Область интересов конференции достаточно широка — от промышленной до персональной робототехники и от комплектующих до умных приложений</i></p>	<p>http://eng.robotworld.or.kr/wp/?page_id=3528</p>
<p>9-10 октября 2019 Нидерланды Амстердам</p>	<p>World Summit AI</p>	<p><i>Ведущий мировой саммит по искусственному интеллекту посвящён глобальной экосистеме ИИ, включая Enterprise, BigTech, Startups, Investors и Science. На мероприятии на 11 треках будут выступать ведущие эксперты в области ИИ</i></p>	<p>https://worldsummit.ai</p>

<p>14-15 октября 2019 ОАЭ Дубай</p>	<p>Dubai World Congress For Self-Driving Transport</p>	<p>Дубайский конгресс по беспилотному транспорту — футуристическая выставка, в которой примут участие ключевые заинтересованные игроки со всего мира, помогающие определить и сформировать будущее автономного транспорта. Участники — от правительственных лидеров до ведущих мировых производителей автомобилей и разработчиков технологий</p>	<p>http://app.link.pentonauto.com/e/es?</p>
<p>14-18 октября 2019 Индия Нью-Дели</p>	<p>Ro-Man 2019 — IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication</p>	<p>28-я Международная конференция IEEE по взаимодействию между роботом и человеком — RO-MAN 2019, на которой представляются результаты, последние разработки, а также будущие перспективные технологии и проекты, связанные с интерактивным общением между роботами и людьми, включая теории, методологии, технологии, эмпирические и экспериментальные исследования</p>	<p>https://ro-man2019.org/</p>
<p>15-17 октября 2019 США Индианаполис</p>	<p>RIA International Robot Safety Conference</p>	<p>Международная конференция по безопасности роботов. На ней будет представлен углублённый обзор текущих отраслевых стандартов, поскольку продажи роботов в последние годы находятся на рекордно высоком уровне, а безопасность роботов имеет первостепенное значение в задачах планирования автоматизации</p>	<p>https://robotics.org/international-robot-safety-conference</p>
<p>15-17 октября 2019 Канада Торонто</p>	<p>Humanoids 2019 — IEEE RAS International Conference on Humanoid Robots</p>	<p>Международная конференция IEEE-RAS по роботам-гуманоидам. На выставке будут представлены наиболее активные исследователи и организации в области гуманоидной робототехники</p>	<p>http://humanoids2019.loria.fr/</p>
<p>29-30 октября 2019 Великобритания Ковентри</p>	<p>Robotics and Automation</p>	<p>Конференция по робототехнике и автоматизации 2019 года предложит участникам два дня бесплатного образовательного контента от экспертов отрасли и ведущих поставщиков. Программа этого года является самой всеобъемлющей и будет насыщена свежими мыслями и идеями о новейших передовых технологиях</p>	<p>https://roboticsandautomation.co.uk</p>

<p>31-01 октябрь ноябрь 2019 Китай Макао</p>	<p>ROSCon 2019</p>	<p>ROSCon — это конференция разработчиков ROS, организованная по модели PyCon и BoostCon. Двухдневная программа будет включать в себя технические доклады и учебные мероприятия, которые познакомят участников с новыми инструментами и библиотеками</p>	<p>https://roscon.ros.org/2019/</p>
<p>3-8 ноября 2019 Китай Макао</p>	<p>International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2019)</p>	<p>Международная конференция IEEE / RSJ 2019 года по интеллектуальным роботам и системам (IROS 2019) — одна из крупнейших и наиболее значимых мировых конференций по робототехническим исследованиям. В рамках темы «Роботы, объединяющие людей» программа IROS 2019 будет состоять из технических сессий и презентаций, а также групповых дискуссий, семинаров, учебных мероприятий и выставок</p>	<p>https://iros2019.org</p>
<p>11-12 ноября 2019 Япония Токио</p>	<p>Infinite Connections of Robotics and Control Systems</p>	<p>Международное мероприятие для обсуждения и изучения искусственного интеллекта, робототехники, Big Data, искусственного интеллекта и автоматизации</p>	<p>https://robotics.conferenceseries.com</p>
<p>12-13 ноября 2019 США Сан Хосе</p>	<p>Collaborative Robots, Advanced Vision & AI conference</p>	<p>Конференция, которая посвящена коллаборативной робототехнике, Advanced Vision & AI при участии технологических экспертов. Направлена на то, чтобы связать участников с ведущими поставщиками и интеграторами</p>	<p>https://visiononline.org/collaborative-robots-advanced-vision-and-ai-conference</p>
<p>15-24 ноября 2019</p>	<p>European Robotics Week</p>	<p>Программа этого года ещё не анонсирована, но в 2018 году в рамках европейской недели робототехники прошло около 1200 более мелких мероприятий, связанных с робототехникой по всей Европе с главным событием в Аугсбурге (Германия). Мероприятия направлены на демонстрацию влияния роботов на нашу жизнь, работу и учёбу сейчас и в будущем</p>	<p>https://eu-robotics.net/robotics_week/</p>

2-6 декабря 2019 Бразилия Белу-Оризонти	ICAR 2019 — International Conference on Advanced Robotics	19-я Международная конференция по прогрессивной робототехнике (ICAR) пройдёт в Бразилии и будет организована Федеральным университетом штата Минас-Жерайс — UFMG. На мероприятии будут представлены доклады по таким тематикам, как: когнитивная робототехника, операционные системы роботов, робототехнические архитектуры, моделирование и визуализация, мобильные роботы, гуманоидные роботы и другие	http://icar2019.org/
9-13 декабря 2019 Чили Сантьяго и Ранкагуа	2019 IEEE RAS Summer School on Deep Learning for Robot Vision	Международная летняя школа, ориентированная на студентов (магистры, аспиранты и обучающиеся на последнем году бакалавриата), исследователей и специалистов, заинтересованных в робототехнике, а также таких тематиках, как Robot Vision, Deep Learning и иных смежных областях. Она будет включать в себя учебные курсы, лекции и демонстрации	http://robotvision2019.amtc.cl
12-14 декабря 2019 Республика Корея Чеджу	ICCR 2019 — International Conference on Control and Robots	Вторая международная конференция по управлению и роботам посвящена двум областям — системам управления и интеллектуальной робототехнике. На мероприятии будут обсуждаться вопросы интеллектуальных систем управления и алгоритмов оптимизации. Приложения включают в себя аэрокосмические, подводные, биологические, медицинские и подземные системы	http://iccr.net
18-21 декабря 2019 Япония Токио	International Robot Exhibition (iREX 2019)	Цель выставки — собрать и продемонстрировать промышленных и сервисных роботов и связанное с ними оборудование со всего мира под одной крышей. Тематика мероприятия этого года — «Путь к более дружелюбному обществу, соединённому роботами». Оно организовано Японской ассоциацией роботов (JARA)	https://biz.nikkan.co.jp/eve/irex/english/
7-10 января 2020 США Лас Вегас	Consumer Electronic Show (CES 2020)	Ежегодно на CES выставляется более 4400 компаний, включая производителей, разработчиков и поставщиков потребительской электроники и не только; программа конференции с более чем 250 сессиями и более 182 000 участников из 160 стран	https://ces.tech/About-CES.aspx

<p>13-15 января 2020</p> <p>США Орlando</p>	<p>A3 Business Forum</p>	<p>A3 Business Forum — ежегодное мероприятие для специалистов в области робототехники, визуализации и создания изображений, управления движением и профессионалов автомобильной индустрии. Более 650 мировых лидеров автоматизации приняли участие в бизнес-форуме A3 в прошлом году</p>	<p>https://a3automate.org/a3-business-forum/</p>
<p>12-15 февраля 2020</p> <p>Испания Мадрид</p>	<p>6th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering</p>	<p>Шестая международная конференция по мехатронике и робототехнике состоится в Барселоне, Испания, 12-15 февраля 2020 года. Мероприятие служит международной академической платформой для исследователей, инженеров, учёных, а также профессионалов отрасли</p>	<p>http://icmre.org</p>
<p>22-24 февраля 2020</p> <p>Япония Токио</p>	<p>3rd International Conference on Mechatronics, Control and Robotics</p>	<p>3-я Международная конференция по мехатронике, управлению и робототехнике предоставит площадку для исследователей, специалистов-практиков и специалистов из отрасли научных кругов и правительства, работающих в области мехатроники, управления и робототехники для обсуждения исследований и разработок и профессиональной практики в смежных областях</p>	<p>http://icmcr.org</p>
<p>3-5 марта 2020</p> <p>Испания Малага</p>	<p>European Robotics Forum 2020</p>	<p>На площадке ERF 2020 пройдёт также крупная выставка, где компании, университеты и исследовательские институты представят самые передовые прототипы, продукты, услуги и проекты, финансируемые в рамках исследовательской программы Horizon 2020 ЕС</p>	<p>https://eu-robotics.net/robotics_forum/</p>
<p>23-26 марта 2020</p> <p>Великобритания Кембридж</p>	<p>Human Robot Interaction (HRI 2020)</p>	<p>HRI 2020 — 15-я Ежегодная конференция по фундаментальным и прикладным исследованиям взаимодействия человека и робота. Исследователи со всего мира посетят мероприятие и представят свои работы, чтобы обменяться идеями о теориях, технологиях, данных и видео, продвигая современное взаимодействие между человеком и роботом</p>	<p>http://humanrobotinteraction.org/2020/about/</p>

<p>20-24 апреля 2020</p>	<p>HANNOVER MESSE 2020</p>	<p>В выставке Hannover Messe принимает участие около 6500 компаний и 250 000 посетителей. Стенды выставки делятся на категории: автоматизация, движение и приводы; цифровые экосистемы; энергетические решения; инженерные детали и решения; Future Hub; логистика</p>	<p>https://hannovermesse.de/en/exhibition/facts-figures/</p>
<p>Германия Ганновер</p>			
<p>3-5 июля 2020</p>	<p>ICARM 2019 — IEEE International Conference on Advanced Robotics & Mechatronics</p>	<p>Международная конференция IEEE по прогрессивной робототехнике и мехатронике (ICARM), биомехатронике и биоробототехническим системам, а также по нейроробототехническим системам. Конференция предоставит международную площадку для исследователей, преподавателей, инженеров в общих областях мехатроники, робототехники, автоматизации и сенсоров</p>	<p>http://ieee-arm.org</p>
<p>Япония Осака</p>			
<p>8-10 июля 2020</p>	<p>Israel Conference on Robotics 2019</p>	<p>Израильская конференция по робототехнике (ICR) — ведущая конференция и выставка робототехники в Израиле, организованная Израильской ассоциацией робототехники. Она предназначена для израильских и международных исследователей и инженеров из промышленности и научных кругов. ICR также призвана поощрять местное и международное сотрудничество и укреплять позиции Израиля как мирового лидера в области интеллектуальной робототехники</p>	<p>http://icr2019.org.il</p>
<p>Израиль Герцлия</p>			
<p>8-10 июля 2020</p>	<p>RoMoCo 2019 — International Workshop on Robot Motion and Control</p>	<p>Семинар организован технологическим университетом города Познань (Польша). Программа семинара включает в себя управление, моделирование и идентификацию параметров роботов и манипуляторов; методы управления роботом; планирование пути и траектории; избегание столкновения; примеры отраслевого применения; экономические и социальные аспекты робототехники; нейронные сети в движении и управлении робота; образовательные аспекты робототехники</p>	<p>http://romoco.put.poznan.pl/</p>
<p>Польша Познань</p>			
<p>8-12 июля 2020</p>	<p>AIM 2019 — IEEE/ ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics</p>	<p>Международная конференция IEEE / ASME по прогрессивной интеллектуальной мехатронике (AIM) соберёт международное сообщество экспертов для обсуждения результатов исследований, перспектив будущих разработок и инновационных применений, относящихся к мехатронике, робототехнике, управлению и автоматизации</p>	<p>https://aim2019.org/</p>
<p>Китай Гонгконг</p>			



Обратная связь

Обзор подготовлен Лабораторией робототехники Сбербанка и призван кратко познакомить широкий круг читателей с текущим состоянием робототехники в России и мире. Мы рассчитываем, что любое цитирование информации, представленной в обзоре,

будет осуществляться со ссылкой на первоисточник. В случае если первоисточник не указан, правообладателем информации является Сбербанк.

Будем рады любым вопросам и предложениям!

Альберт Ефимов

Руководитель Лаборатории робототехники Сбербанка

Виктор Цыганков

Главный аналитик

Денис Затыгов

Руководитель проекта

Связь с авторами:

robotics@sberbank.ru

Использованные источники

1. ISO/CD 8373, Robotics — Vocabulary. <https://www.iso.org/standard/75539.html>
2. Исследование в области развития законодательства о робототехнике и киберфизических системах, в том числе в части определения понятия киберфизических систем, порядка ввода их в эксплуатацию и гражданский оборот, определения ответственности, В.Б. Наумов, А.В. Незнамов, ООО «Дентонс Юроп», 2018. <https://www.dentons.com/ru/whats-different-about-dentons/connecting-you-to-talented-lawyers-around-the-globe/news/2018/november/dentons-submits-results-of-research>
3. International Federation of Robotics — Representing the global robotics industry, 2018. https://ifr.org/downloads/press2018/WR_Presentation_Industry_and_Service_Robots_rev_5_12_18.pdf
4. IFR World Robotics outlook. 2019
5. Четвёртый закон роботехники: «Вкладывай!», «Коммерсант», 2016. <https://www.kommersant.ru/doc/2982131>
6. IFR World Robotics outlook 2019
7. The 13th five-year plan for economic and social development of the People's Republic of China (2016–2020). <http://en.ndrc.gov.cn/newsrelease/201612/P020161207645765233498.pdf>
8. CIA Fact Book, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xx.html>
9. Intuitive Surgical Annual Report, 2018. <https://isrg.intuitive.com/static-files/31b5c428-1d95-4c01-9c85-a7293bac5e05>
10. Роботы могут заменить людей на половине всех рабочих мест через 20 лет. <https://robot-hunter.com/news/roboti-mogut-zamenit-lydeina-popolovine-vseh-rabochih-mest-cherez-20-let>
11. Amazon's \$775 million deal for robotics company Kiva is starting to look really smart. <https://www.businessinsider.com.au/kiva-robots-save-money-for-amazon-2016-6>
12. Frequently Asked Questions, GaN Systems. <https://gansystems.com/gan-transistors/faq/>
13. GaN Systems, <https://gansystems.com/gan-transistors/>
14. Great potential as soft robotic material of the future, Waseda University, 2018. <https://www.waseda.jp/top/en-news/57241>
15. All-graphene-battery: bridging the gap between supercapacitors and lithium ion batteries, Haegeom Kim et al., 2014. <http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/yui/docs/srep05278.pdf>
16. Basic Robotics — Power Source for robots, Kalwinder Kaur, AZO Robotics, 2013. <https://www.azorobotics.com/Article.aspx?ArticleID=139>
17. Continuum Theory and Modeling of Thermo-electric Elements. https://books.google.ru/books?id=XQemCgAAQBAJ&pg=PA2&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
18. BMPower, <http://bmpower.ru/about/>
19. This Video Might Be the Future of Russia's Army: Armed Ground Robots, The National Interest, 2019. <https://nationalinterest.org/blog/buzz/video-might-be-future-russias-army-armed-ground-robots-48022>
20. Комплексы автономной навигации для беспилотных объектов, ЦНИИ ПТК. <http://www.rtc.ru/ru/kompleksy-navigatsii-bespilotnykh-obektov>
21. Prof. Yossi Yovel and Itamar Elyakim — Develop a bat robot. <https://www.sagol.tau.ac.il/en/prof-yossi-yovel-and-itamar-elyakim-develop-a-bat-robot/>
22. Inside Google's Rebooted Robotics Program, The New York Times, 2019. <https://www.nytimes.com/2019/03/26/technology/google-robotics-lab.html?smid=nytcore-ios-share>
23. Nissan tech allows a car to read your mind to boost reaction times, Techcrunch, 2018. <https://techcrunch.com/2018/01/03/nissan-tech-allows-a-car-to-read-your-mind-to-boost-reaction-times/?ncid=rss>
24. The first dexterous and sentient hand prosthesis has been successfully implanted, DeTOP Project, 2019. <http://www.detop-project.eu/news/the-first-dexterous-and-sentient-hand-prosthesis-has-been-successfully-implanted/>
25. SecondHands, a robotic Horizon 2020 project, <https://secondhands.eu>
26. ANA Avatar Xprize. <https://www.xprize.org/prizes/avatar>
27. Ростех планирует выпустить в продажу шлем для обмена информацией между мозгом и электронными устройствами, ГК Ростех, 2018. https://rostec.ru/media/pressrelease/rostekh-planiruet-vypustit-v-svobodnuyu-prodazhu-shlem-dlya-obmena-informatsiey-mezhdu-mozgom-i-elek/?sphrase_id=109851

28. *MIT robot combines vision and touch to learn the game of jenga*, MIT News Office, 2019. <http://news.mit.edu/2019/robot-jenga-0130>
29. *Research makes robots better at following spoken instructions*, News from Brown, 2017. <https://news.brown.edu/articles/2017/07/language>
30. *BMW is working with LiDAR company Innoviz to make self-driving cars*, Techcrunch, 2018. <https://techcrunch.com/2018/04/26/bmw-is-working-with-lidar-company-innoviz-to-make-self-driving-cars/>
31. Сравнительная оценка различных способов управления коммутацией вентилярных двигателей по энергетическим показателям и регулировочным свойствам, С. Воронин et al, 2013. <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-otsenka-razlichnyh-sposobov-upravleniya-kommutatsiy-ventilyrnyh-dvigatelay-po-energeticheskim-pokazatelyam-i>
32. *China becomes world's biggest importer of rare earths: analysts*, Reuters, 2019. <https://www.reuters.com/article/us-china-rareearths/china-becomes-worlds-biggest-importer-of-rare-earths-analysts-idUSKBNIQUIRO>
33. *Nissan Design works with Haptx to bring realistic touch to VR vehicle design*, Venturebeat, 2019. <https://venturebeat.com/2019/03/14/nissan-design-works-with-haptx-to-bring-realistic-touch-to-vr-vehicle-design/>
34. *Деглобализация мировой экономики как следствие её финансовализации*, Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2014. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=4625>
35. *Deglobalization: an introduction*, IAS Score, <https://www.iasscore.in/topical-analysis/deglobalization-an-introduction>
36. «Крупнейшая в истории»: Трамп развязал войну, Газета.ру. <https://www.gazeta.ru/business/2018/07/05/11827219.shtml>
37. *New York Clothing Startup Outdoor Voices Packed Up Its 40 Employees and Moved to Austin--and You Should Too*, Inc.com, 2019. <https://www.inc.com/magazine/201902/tom-foster/austin-texas-tyler-haney-outdoor-voices-2018-surge-cities.html>
38. *Reshoring in Reverse Again*, AT Kearney, 2018. <https://www.atkearney.com/operations-performance-transformation/us-reshoring-index>
39. *Germany invests to prolong employees' working lives*, Financial Times, 2019. <https://www.ft.com/content/flb294b8-9cbe-11e8-88de-49c908bf264>
40. *Aging population on course to wipe out Germany's finances within 30 years*, Handelsblatt, 2018. <https://www.handelsblatt.com/today/politics/demographic-armedageddon-aging-population-on-course-to-wipe-out-germanys-finances-within-30-years/23582318.html?ticket=ST-2700938-7elfmWgZdlpWcshxunlo-ap4>
41. «The Precariat — The new dangerous class», Guy Standing, Policy Network, 2011
42. В 2022 году мировые затраты на покупку дронов и роботов превысят \$200 млрд, DailyComm, 2018. <http://www.dailycomm.ru/m/44324/>
43. *Advancing Robotics to Boost US Manufacturing Competitiveness*, Boston Consulting Group, 2018. <https://www.bcg.com/en-us/publications/2018/advancing-robotics-boost-us-manufacturing-competitiveness.aspx>
44. *Advancing Robotics to Boost US Manufacturing Competitiveness*, Boston Consulting Group, 2018. <https://www.bcg.com/en-us/publications/2018/advancing-robotics-boost-us-manufacturing-competitiveness.aspx>
45. *China's Guangdong province invests billions in robot factories*, Xinhua, 2015. <http://www.global-times.cn/content/914262.shtml>
46. *Policies and Measures—2016 Anhui Investment and Trade Expo*, 2016. <http://english.ah.gov.cn/content/detail/581009cc8513f3e1bf991df.html>
47. *Matia Robotics*. <https://www.matiarobotics.com/gallery/>
48. *Giraff*. <http://www.giraff.org/about-giraff/?lang=en>
49. *GreyOrange closes \$140 million Series C, marking the biggest fundraising in industrial automation systems*. <https://www.roboticstomorrow.com/story/2018/09/greyorange-closes-140-million-series-c-marking-the-biggest-fundraising-in-industrial-automation-systems/12486/>
50. *GreyOrange warehouse robots are coming to United States*. <https://www.therobotreport.com/greyorange-warehouse-robots-us/>
51. *Greater Demand for Automation and Technological Advancements to Boost the Warehouse Robotics Market*. <https://www.roboticstomorrow.com/article/2018/07/greater-demand-for-automation-and-technological-advancements-to-boost-the-warehouse-robotics-market/12246/>
52. *GreyOrange at Owler.com*, <https://www.owler.com/company/greyorange>
53. *Mobile Industrial Robots (MiR) Nails Growth Target with 300% Revenue Hike in 2017; Asserts Similar Growth Plans for 2018*. <https://www.pr.com/press-release/740924>
54. *Первый в России промышленный экзоскелет ExoBelt защитит рабочих на тяжёлых производствах*. <https://sk.ru/news/b/articles/archive/2019/04/16/pervyy-v-rossii-promyshlennyy-ekzoskelet-exobelt-zaschitit-rabochih-na-tyazhelyh-proizvodstvah.aspx>
55. *An Effective and Affordable Exoskeleton that Reduces the Risk of Work-Related Back Injuries*. <https://www.suitx.com/backx>
56. *ТРИК, кибернетический конструктор для образования и творчества*. https://trikset.com/?utm_referrer=https%3a%2f%2ftrikset.com%2fsupport

57. Rozum Robotics. <https://rozum.com/ru/about/>
58. Future Robotix стал авторизованным дилером Rozum Robotics в США. <https://rozum.com/ru/us-dealer-future-robotix/>
59. Механический бариста: вкусный кофе без перерыва на обед. <https://www.facebook.com/vkhamianok/videos/2050877904981680/>
60. SoftBank Robotics and Simbe Robotics Partner to Offer a Retail Solution Globally. <https://www.simberobotics.com/news/softbank-robotics-and-simbe-robotics-partner-to-offer-a-retail-solution-globally>
61. Simbe Robotics Reveals RFID and Machine Learning Capabilities in the Latest Iteration of their Autonomous Inventory Robot — Tally. <https://www.simberobotics.com/news/simbe-robotics-reveals-rfid-and-machine-learning-capabilities-in-the-latest-iteration-of-their-autonomous-inventory-robot-tally>
62. Simbe Robotics and Advantage Solutions Partner to Bring In-Store Visibility to Leading Consumer Goods Manufacturers <https://www.simberobotics.com/news/simbe-robotics-and-advantage-solutions-partner-to-bring-in-store-visibility-to-leading-consumer-goods-manufacturers>
63. Schnuck Markets Ups the Ante On Product Insights, Expanding Simbe Robotics' Autonomous Shelf-Auditing Robot, Tally, To At Least 15 Stores. <https://www.simberobotics.com/news/schnuck-markets-ups-the-ante-on-product-insights-expanding-simbe-robotics-autonomous-shelf-auditing-robot-tally-to-at-least-15-stores>
64. Simbe Robotics Launches Partnership with Decathlon, World's Largest Sporting Goods Retailer. <https://www.simberobotics.com/news/simbe-robotics-launches-partnership-with-decathlon-worlds-largest-sporting-goods-retailer>
65. Simbe Robotics at Owler.com. <https://www.owler.com/company/simberobotics>
66. Fellow, Inc. Partners With Canon To Showcase At CES The Integration Of Its Advanced Imaging Technology For Enterprise Retail Scanning. <https://www.prnewswire.com/news-releases/fellow-inc-partners-with-canon-to-showcase-at-ces-the-integration-of-its-advanced-imaging-technology-for-enterprise-retail-scanning-300579411.html>
67. Fellow, Inc. Partners With Canon To Showcase At CES The Integration Of Its Advanced Imaging Technology For Enterprise Retail Scanning. <https://www.prnewswire.com/news-releases/fellow-inc-to-showcase-the-integration-of-inventory-management-solutions-with-microsoft-azure-at-nrf-300581608.html>
68. Nvidia launches AI computer to give autonomous robots better brains. <https://www.theverge.com/2018/6/4/17424118/nvidia-ai-chip-jetson-xavier-robot-platform-isaac>
69. Fellow Robots at Owler.com. <https://www.owler.com/company/fellowrobots>
70. Озон хочет создавать умные колонки и устройства для управления складом, Ведомости, 2018. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/07/12/775317-ozon-hochet-sozdavat-umnie-kolonki>
71. «Газпром нефть» внедрит робототехнику, Comnews, 2018. <https://www.comnews.ru/digital-economy/content/113195/news/2018-05-25/gazprom-neft-vnedrit-robototekniku>
72. «Газпром нефть» представила первый роботизированный топливозаправочный комплекс. <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/2000251/>
73. «Северсталь» инвестирует в роботов, Ведомости, 2018. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/10/08/783039-severstal-robotov>
74. Техностарм. <https://tstart.ru/#subjects>
75. Корпоративный акселератор «Сибур». <https://razvedka-perm.ru/korporativnyj-akselerator-sibur/>
76. Национальный центр компетенций робототехники создан в Иннополисе. <http://www.nti2035.ru/media/publication/natsionalnyy-tsentr-kompetentsiy-robototekhniki-sozdan-v-innopolise>
77. Цифровые технологии. <https://data-economy.ru/science>
78. Стратегия развития робототехники в России, НАУПР. <http://robotunion.ru/ru/novosti/183-strategy2>
79. Точные науки в тренде. Какие профессии выбирают абитуриенты? Аргументы и факты, 2018. http://www.aif.ru/society/education/tochnye_nauki_v_trende_kakie_professii_vybirayut_abiturienty
80. Приём на высшем уровне, Российская газета, 2018. <https://rg.ru/2018/11/21/novye-specialnosti-stali-polzovatsia-populiarnostiu-v-vuzah.html>
81. Сможет ли Россия конкурировать? Лорен Грэхэм. <https://www.mann-ivanov-ferber.ru/books/paper-book/lonely-ideas-can-russia-compete/>
82. Роботы в культуре, Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/Роботы_в_культуре
83. Война по науке, Коммерсант, 2019. <https://www.kommersant.ru/doc/3894311>
84. Record 20% of Russians Say They Would Like to Leave Russia, Gallup, 2019. <https://news.gallup.com/poll/248249/record-russians-say-leave-russia.aspx>
85. The Problem With Russia's Best and Brightest, Stratfor, 2016. <https://worldview.stratfor.com/article/problem-russias-best-and-brightest>
86. Российская наука не умерла — она переехала за границу, Новые известия, 2019. <https://newizv.ru/news/society/15-05-2019/rossiyskaya-nauka-ne-umerla-ona-pereehala-za-granitsu>

87. Nokia CEO Stephen Elop rallies troops in brutally honest 'burning platform' memo?. <https://www.engadget.com/2011/02/08/nokia-ceo-stephen-elop-rallies-troops-in-brutally-honest-burnin>
88. Границы понятия «искусственный интеллект». <https://postnauka.ru/talks/83416>
89. Towards a science of integrated AI and Robotics, Kanna Rajan et al., 2017. https://www.researchgate.net/publication/315958025_Towards_a_science_of_integrated_AI_and_Robotics
90. История робототехники: 1960-е годы. https://www.myrobot.ru/articles/hist_1960.php
91. 8 историй, повлиявших на развитие искусственного интеллекта. <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/424007/>
92. Эволюция чат-ботов: можно ли стать умнее человека. <https://blog.ingate.ru/detail/evolyutsiya-chat-botov-mozhno-li-stat-umnee-cheloveka/>
93. История робототехники: 1980-е годы. https://www.myrobot.ru/articles/hist_1980.php
94. Miso Robotics, <https://misorobotics.com/flippy>
95. Толкование и значение слова «искусственный». <http://ozhegov.textologia.ru/definit/iskusstvenny/?q=742&n=174476>
96. A Collection of Definitions of Intelligence, Shane Legg et al., 2007. <https://arxiv.org/pdf/0706.3639.pdf>
97. The Myth of a Superhuman AI, Wired, 2017. <https://www.wired.com/2017/04/the-myth-of-a-super-human-ai/>
98. Experts explain the biggest obstacles to creating human-like robots, Business Insider, 2016. <https://www.businessinsider.com/biggest-challenges-human-artificial-intelligence-2016-2>
99. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, Paul Viola et al., 2001. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.10.6807>
100. Convolutional Neural Networks, Github. <https://github.com/pjreddie/darknet>
101. Deep Tracking: Seeing Beyond Seeing Using Recurrent Neural Networks, Peter Ondruska et al., 2016. <https://arxiv.org/pdf/1602.00991.pdf>
102. Unbiasing Semantic Segmentation For Robot Perception using Synthetic Data Feature Transfer, Jonathan C. Balloch et al., 2018. <https://arxiv.org/pdf/1809.03676.pdf>
103. Unsupervised single image depth prediction with CNNs, Github. <https://github.com/mrharicot/monodepth>
104. Stereo Vision Camera, Github. https://github.com/Alexjinlei/Stereo_Vision_Camera
105. 3D-R2N2: 3D Recurrent Reconstruction Neural Network. <http://3d-r2n2.stanford.edu/>
106. Usings CNNs to Estimate Depth from Stereo Imagery, Tyler S. Jordan et al. https://web.stanford.edu/class/ee368/Project_Autumn_1516/Reports/Jordan_Shridhar.pdf
107. Grounded Language Learning: Where Robotics and NLP Meet, Cynthia Matuszek, 2018. <https://www.ijcai.org/proceedings/2018/0810.pdf>
108. Fight Against Illegal Deforestation. <https://www.blog.google/technology/ai/fight-against-illegal-deforestation-tensorflow/>.
109. Machine Learning in Automatic Speech Recognition: A Survey, Jayashree Padmanabhan et al., 2015. https://www.researchgate.net/publication/276351194_Machine_Learning_in_Automatic_Speech_Recognition_A_Survey
110. Voice-Activated Hotel Rooms And Robot Butlers: How Technology is Revolutionizing Our Holidays. <https://www.independent.co.uk/travel/news-and-advice/hotels-smart-tech-voice-activated-rooms-robots-virtual-reality-new-york-barcelona-japan-boston-a7381501.html>
111. Robot global path planning overview and a variation of ant colony system algorithm, Norlida Buniyamin et al., 2011. https://www.researchgate.net/publication/265107519_Robot_global_path_planning_overview_and_a_variation_of_ant_colony_system_algorithm
112. Self-supervised Deep Reinforcement Learning with Generalized Computation Graphs for Robot Navigation. <https://github.com/gkahn13/gcg>
113. NVIDIA 6-DoF pose estimation trained on synthetic data, The Robot Report, 2018. <https://www.therobotreport.com/nvidia-grasping-system-synthetic-data>
114. A robot learning from demonstration framework that trains a recurrent neural network for autonomous task execution. <https://github.com/rrahmati/roboinstruct-1>
115. Want to Really Teach a Robot? Command It With VR, Wired, 2017. <https://www.wired.com/story/embody-intelligence-want-to-really-teach-a-robot-command-it-with-vr/>
116. Pre-Training with Non-Expert Human Demonstration for Deep Reinforcement Learning, Gabriel V. de la Cruz Jr. et al., 2018. <https://arxiv.org/pdf/1812.08904.pdf>
117. Emotion Generation System Considering Complex Emotion Based on MaC Model with Neural Networks, Tsubasa Takamatsu et al., 2003. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-40728-4_62
118. Emotional Empathy Model For Robot Partners Using Recurrent Spiking Neural Network Model With Hebbian-Lms Learning, Jinseok

- Woo et al., 2017. https://www.researchgate.net/publication/321888291_Emotional_Empathy_Model_For_Robot_Partners_Using_Recurrent_Spiking_Neural_Network_Model_With_Hebbian-Lms_Learning
119. A Robot with Compassion, Empathizes with People, CES 2018. <https://global.honda/innovation/CES/2018/001.html>
120. Deep Learning based Recommender System: A Survey and New Perspectives, Shuai Zhang et al., 2018. <https://arxiv.org/pdf/1707.07435.pdf>
121. Application of Intelligent Recommendation Techniques for Consumers' Food Choices in Restaurants, Xinke Li et al., 2018. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6132194/>
122. Social robot + machine learning pipeline for personalized, adaptive, clothing recommendation. <https://github.com/lwoiceshyn/Robot-Clothing-Recommender-System>
123. This robot uses AI to find Waldo, thereby ruining Where's Waldo. <https://www.theverge.com/circuit-breaker/2018/8/8/17665268/wheres-waldo-finding-robot-google-cloud-automl-ai>
124. Google's Artificial Intelligence Built an AI That Outperforms Any Made by Humans. <https://futurism.com/google-artificial-intelligence-built-ai>
125. FANUC's new AI functions utilizing machine learning and deep learning. <https://www.preferred-networks.jp/en/tag/fanuc>
126. NVIDIA Opens Robotics Research Lab in Seattle. <https://news.developer.nvidia.com/nvidia-opens-robotics-research-lab-in-seattle>
127. Miso Robotics: automated chefs in the kitchen. <http://www.kurzweilai.net/miso-robotics-automated-chefs-in-the-kitchen>
128. Closing the Simulation-to-Reality Gap for Deep Robotic Learning. <https://ai.googleblog.com/2017/10/closing-simulation-to-reality-gap-for.html>
129. Artificial Intelligence & Robotics: Industry Report & Investment Case. <https://indexes.nasdaqomx.com/docs/NQROBO%20Research.pdf>
130. Crunchbase Rank (CB Rank). <https://support.crunchbase.com/hc/en-us/articles/115010477187-Crunchbase-Rank-CB-Rank->
131. What Is Crunchbase Rank and Trend Score?. <https://about.crunchbase.com/blog/crunchbase-rank-trend-score/>
132. Границы понятия «искусственный интеллект». <https://postnauka.ru/talks/83416>
133. Когнитивная робототехника. <https://postnauka.ru/video/77709>
134. Rise of the Robots--The Future of Artificial Intelligence, Hans Moravec, 2009. <https://www.scientificamerican.com/article/rise-of-the-robots/>
135. BCC Research Robotics Report, 2017. <https://www.roboticstomorrow.com/article/2017/10/bcc-research-robotics-report/10918>
136. RoboEarth — A World Wide Web for Robots. <http://www.i6.in.tum.de/Main/ResearchRoboEarth>
137. Социальный интеллект как вид интеллекта, Д. Ушаков, http://creativity.ipras.ru/texts/books/social_IQ/ushakov1_Social_IQ.pdf
138. Robot Social Intelligence, Mary-Anne Williams, 2012. https://www.researchgate.net/publication/232808406_Robot_Social_Intelligence
139. The Dexterity Network (Dex-Net). <https://berkeleyautomation.github.io/dex-net/>
140. Boom in Robot Advances Expected Over Next Three Years. <https://www.designnews.com/automation-motion-control/boom-robot-advances-expected-over-next-three-years>
141. A Vision-Guided Multi-Robot Cooperation Framework for Learning-by-Demonstration and Task Reproduction, Bidan Huang et al., 2017. <https://arxiv.org/pdf/1706.00508.pdf>
142. Robot Learning from Demonstration in Robotic Assembly: A Survey, Zuyuan Zhu et al., 2018. https://res.mdpi.com/robotics/robotics-07-00017/article_deploy/robotics-07-00017.pdf?filename=&attachment=1
143. Доступно на русском: <http://robopravo.ru/uploads/s/z/g/g/z6gj0wkhv1o/file/nqPVARXE.pdf>
144. Более подробный обзор зарубежного регулирования см. «Регулирование робототехники: введение в «робоправо». Правовые аспекты развития робототехники и технологий искусственного интеллекта», под ред. А.В. Незнамова. М., 2018
145. Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap: For Robotics in Europe. Horizon 2020 Release B 02/12/2016, euRobotics, http://robotunion.ru/files/EU_Robotics_Multi-Annual_Roadmap_2016.pdf
146. Regulating Emerging Robotic Technologies in Europe: Robotics facing Law and Ethics, RoboLaw, http://www.robolaw.eu/RoboLaw_files/documents/robolaw_d6.2_guidelinesregulatingrobotics_20140922.pdf
147. Civil Law Rules on Robotics, European Parliament resolution of 16 February 2017 with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics (2015/2103(INL)), European Parliament, <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONGML+TA+P8-TA-2017-0051+0+DOC+PDF+VO//EN>. Перевод на русский язык, выполненный АНО «Робоправо», доступен по адресу www.robopravo.ru
148. Final Report Summary — ROBOLAW (Regulating Emerging Robotic Technologies in Europe: Robotics facing Law and Ethics), European Commission, Community Research and Development Information Service, https://cordis.europa.eu/result/rcn/161246_en.html

149. Проект Robolaw. <http://www.robolaw.eu/news.htm>
150. Незнамов А.В., Наумов В.Б. Вопросы развития законодательства о робототехнике в России и в мире, Юридические исследования. 2017. № 8. С. 14–25. http://e-notabene.ru/lr/article_23292.html
151. Глобальная государственная программа развития «Сделано в Китае — 2025», Торгово-промышленная палата США, https://www.uschamber.com/sites/default/files/final_made_in_china_2025_report_full.pdf
152. Информация по программе «Сделано в Китае — 2025» [официальный сайт ChinaLogist.ru, проекта, созданного под эгидой Компании по развитию Дальнего Востока (Far East Development Ltd)], <http://chinalogist.ru/articles/sdelano-v-kitae-2025-kto-pridyot-na-smenu-mirovoy-fabriki-12708>
153. Guidelines on Promoting the Development of the Industrial Robotics Industry, Global Machinery Suppliers, http://machine.jixie.name/machine_1/content/?14371.html
154. План развития робототехнической промышленности 2016–2020, 2016, Национальная комиссия развития и реформ (НКРР) Китайской Народной Республики, http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/201604/t20160427_799898.html
155. Варшавский А.Е. Проблемы развития прогрессивных технологий: робототехника, <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-razvitiya-progressivnyh-tehnologiy-robototehnika>
156. А. Коныховская, В. Цыпленкова. Рынок робототехники: угрозы и возможности для России. М, 2019.
157. New Robot Strategy 2015, Ministry of Economy Trade and Industry, http://www.meti.go.jp/english/press/2015/pdf/0123_01b.pdf
158. Robot Revolution Initiative, <https://www.jmfrri.gr.jp/english/outline/763.html>
159. National Robotics Initiative 2.0: Ubiquitous Collaborative Robots (NR1-2.0), The National Science Foundation, <https://www.nsf.gov/pubs/2017/nsf17518/nsf17518.htm>
160. Roadmap for US Robotics From Internet to Robotics (2016 edition), Jacobs School, <http://jacobschool.ucsd.edu/contextualrobotics/docs/rm3-final-rs.pdf>
161. Закон «О развитии и распространении умных роботов». Перевод на русский доступен по адресу: http://roborpavo.ru/zakon_iuzhnoi_koriei_2008
162. Голландская стратегическая повестка по робототехнике. Июнь 2012 г., <http://www.roboned.nl/sites/default/files/RoboNED%20Roadmap.pdf>
163. Робототехника в сфере услуг по уходу: Дорожная карта Финляндии. 01 июня 2017 г., <http://roseproject.aalto.fi/images/publications/Roadmap-final02062017.pdf>
164. Изменения в Закон о дорожном движении от 14.06.2017, <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072017008>
165. Немецкий закон о высокоавтоматизированных автомобилях доступен на русском языке по адресу: http://roborpavo.ru/matierialy_dlia_skachivaniia#ul-id-4-56
166. Выполнено авторским коллективом на базе ООО «Дентонс Юроп»; руководитель А.В. Незнамов, куратор В.Б. Наумов. Доступен по адресу: <http://sk.ru/foundation/legal/m/sklegall/22360/download.aspx>
167. Официальный сайт стратегии «Индустрия 4.0», <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html>
168. RAS 2020 Робототехника и Автономные системы. Специальная группа Агентства по инновациям Великобритании. Июль 2014 г., <https://connect.innovateuk.org/documents/2903012/16074728/RAS%20UK%20Strategy>
169. Инициативы Франции в области робототехники, https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/secteurs-professionnels/industrie/robotique/france-robots-initiatives.pdf. Перевод на русский выполнен фондом «Сколково», доступен по адресу http://roborpavo.ru/initiatives_frantsii_v_sferie_robototiekhniki_2013
170. Робототехника в сфере услуг по уходу: Дорожная карта Финляндии. 01 июня 2017 г., <http://roseproject.aalto.fi/images/publications/Roadmap-final02062017.pdf>
171. Постановление Министерства инфраструктуры и транспорта от 28 февраля 2018 г., http://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2018-04-18&atto.codiceRedazionale=18A02619&elenco30giorni=false
172. Изменения в Закон о дорожном движении от 14.06.2017, <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072017008>
173. Директива об ответственности за продукты с браком, Eur-lex, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF?uri=CELEX:31985L0374&from=EN>
174. Директива о безопасности продукции, Eur-lex, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF?uri=CELEX:32001L0095&from=EN>
175. Директива по машинному оборудованию, Eur-lex, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF?uri=CELEX:32006L0042&rid=6>
176. Регламент о медицинском оборудовании, Eur-lex, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF?uri=OJ:L:2017:117:FULL&from=EN>
177. ISO 10218-1:2011, <https://www.iso.org/standard/51330.html>; <https://www.iso.org/standard/41571.html>

178. ISO 13482:2014, <https://www.iso.org/standard/53820.html>
179. «Индустрия 4.0» в Чешской Республике. Агентство по развитию инвестиций и предпринимательства Чехии 2018 г., <https://www.ncp40.cz/files/industry-40-web.pdf>
180. Робототехника в Нидерландах. Агентство по предпринимательству Нидерландов, <https://www.hollandhightech.nl/international/key-technologies/robotics/robotics-in-nl>
181. Робототехника в Австрии. Краткое исследование — перспективы развития и политические проблемы», Март 2017 г., <http://www.austriaca.at/ita/ita-projektberichte/2017-03.pdf>
182. *Regulating Emerging Robotic Technologies in Europe: Robotics facing Law and Ethics*, RoboLaw, URL: http://www.robolaw.eu/RoboLaw_files/documents/robolaw_d6.2_guidelinesregulatingrobotics_20140922.pdf
183. *Ethical Aspects of Cyber-Physical Systems: Study*, European Parliament, http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/563501/EPRS_STU%282016%29563501_EN.pdf
184. *Regulating Emerging Robotic Technologies in Europe: Robotics facing Law and Ethics*, RoboLaw, http://www.robolaw.eu/RoboLaw_files/documents/robolaw_d6.2_guidelinesregulatingrobotics_20140922.pdf
185. Более подробный обзор правовых проблем см. «Новые законы робототехники. Регуляторный ландшафт. Мировой опыт регулирования робототехники и технологий искусственного интеллекта». Под ред. А.В. Незнамова. М, 2018
186. Джордан Дж. Роботы. М., 2017. С. 38.
187. Ефремова Т.Ф. Новый словарь русского языка. Толково-словообразовательный. М.: Русский язык, 2000.
188. Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1969—1978.
189. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2014/509987/IPOI_IDA\(2014\)509987\(ANNO1\)_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2014/509987/IPOI_IDA(2014)509987(ANNO1)_EN.pdf)
190. Отчёт ЮНЕСКО о роботизации, <http://unesdoc.unesco.org/images/0025/002539/253952E.pdf>
191. <https://nist.gov/el/cyber-physical-systems;http://internetofthings.ru/78-blog/33-spimes-kiber-fizicheskie-sistemy-i-promyshlennost-4-0>
192. Незнамов А.В., Наумов В.Б. Стратегия регулирования робототехники и киберфизических систем, Закон. 2018. N 2. С. 69—89.
193. <http://undocs.org/ru/A/HRC/23/47>
194. https://ru.wikipedia.org/wiki/Детектив_Элайдж_Бейли_и_робот_Дэниел_Оливо
195. Модельная конвенция о робототехнике и искусственном интеллекте. Правила создания и использования роботов и искусственного интеллекта, http://robopravo.ru/modielaia_konvientsiia
196. Азиломарские принципы ИИ, Исследовательский центр проблем регулирования робототехники и искусственного интеллекта «Робоправо», http://robopravo.ru/azilomarskiie_printsipy_ii
197. Report of COMEST on robotics ethics, 2017. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253952>
198. <http://moralmachine.mit.edu>
199. Исследование PWC UK. <https://www.pwc.co.uk/services/economics-policy/insights/the-impact-of-automation-on-jobs.html>
200. The economic and social consequences of robotization. <http://blogs.worldbank.org/jobs/economic-and-social-consequences-robotization>
201. Дж. Баррат. Последнее изобретение человечества. Искусственный интеллект и конец эпохи Homo Sapiens
202. Боевые роботы: угрозы учтенные и непредвиденные В.Б. Козюлин, Т. Грант, А.В. Гребенщиков, Ж. Джиака, А.Р. Ефимов, С. Сун, М. Уорхэм. Индекс безопасности. 2016. Т. 22. № 3-4 (118-119). С. 79-96. 4
203. Новый Бонд — машина с лицензией на убийство В.Б. Козюлин, А.Р. Ефимов. Индекс безопасности. 2016. Т. 22. № 1 (116). С. 37-60. 2
204. Грузооборот транспорта в России за 9 месяцев вырос на 2,9%. <https://trans.ru/news/gruzooborot-transporta-v-rossii-za-9-mesyatsev-viros-na-2.9-protsenta>
205. Генпрокуратура обеспокоена плачевным состоянием российских дорог. <https://tass.ru/obschestvo/6620263>
206. Информационно-аналитические материалы к заседанию Общественного совета при Министерстве транспорта Российской Федерации по вопросу «О состоянии и перспективах развития сети автомобильных дорог общего пользования»
207. Вертолетную отрасль ждет дефицит кадров. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/11/23/787311-defitsit-kadrov>
208. The Future of Jobs 2018, World Economic Forum. <https://www.forbes.com/sites/amitchowdhry/2018/09/18/artificial-intelligence-to-create-58-million-new-jobs-by-2022-says-report/>
209. "The Evolution of Automated Safety Technologies, NHTSA". <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>
210. Will 5G be necessary for self-driving cars?, <https://www.bbc.com/news/business-45048264>