



## ЦЕНТР МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Тел.: 8-499-129-17-22, e-mail: [mail@forecast.ru](mailto:mail@forecast.ru), <http://www.forecast.ru>

# Мониторинг и анализ технологического развития России и мира

Тема номера – «**Квантовые технологии**»

# Содержание

1. **Технологические тренды в России**
  - I. **Технологический радар России**
  - II. **Мониторинг технологического развития в России**
  
2. **Технологические тренды в мире**
  - I. **Мировой технологический радар**
  - II. **Мониторинг технологического развития в мире**
  
3. **Тема номера: «Квантовые технологии»**

# **1. Технологические тренды в России**

# 1.1. Технологический радар России



## 1.2.1. Мониторинг технологического развития в России: энергетика

### Электроэнергетика

- Группа студентов института № 4 «Радиоэлектроника, инфокоммуникации и информационная безопасность» Московского авиационного института (МАИ) создала устройство для подзарядки телефона в отсутствие традиционных способов зарядки – от электросети или портативных аккумуляторов. Разработанное устройство может заряжаться несколькими способами на выбор пользователя: от солнечной панели, старых батареек («высасывая» их до нуля), вибрации, разницы температур, потока жидкости и даже «перехвата» энергии радиовышек. Для этих целей предусмотрено несколько компактных модулей, которые можно подключать в зависимости от ситуации. Для получения заряда, достаточного для телефонного звонка, потребуются несколько часов такой подзарядки. Такое устройство для подзарядки может быть полезным для обеспечения связи в экстремальных условиях, либо в труднодоступной местности.
- Объединенная двигателестроительная корпорация (ОДК, ГК «Ростех») представила на макет перспективной энергоустановки. Она вырабатывает электроэнергию путем электрохимического преобразования синтез-газа в топливных элементах. По данным разработчиков, энергоустановка имеет высокий КПД – более 50%, что превышает показатели существующих аналогов с мощностью до 1 МВт. В настоящее время (конец августа 2024 г.) заканчивается проектирование, и в конце 2024 г. ОДК планирует приступить к испытаниям устройства. На первом этапе установка будет иметь мощность 2,5 кВт с последующим повышением этого показателя. Реализация проекта позволит обеспечивать электроэнергией небольшие удаленные населенные пункты и промышленные объекты, куда проводить централизованное электроснабжение экономически невыгодно.

### Атомная энергетика

- Новосибирский завод химконцентратов (НЗХК, входит в топливный дивизион Росатома «ТВЭЛ») изготовил топливные кассеты пятого поколения для ядерных реакторов - ТВС-5. Особенность конструкции новых кассет позволяет организовать их сборку с плутонием и обращение на АЭС полностью в автоматизированном режиме, без участия человека. ТВС-5 уже прошли полный комплекс дореакторных испытаний, их можно будет использовать в реакторах типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200, которые используются в современных российских АЭС. Применение новых кассет повысит безопасность изготовления и использования ядерного топлива на АЭС.

## 1.2.2. Мониторинг технологического развития в России:

### КОСМОС

- Частная космическая компания «Спутникс» и Самарский университет им. Королёва разработали космический аппарат для дистанционного зондирования Земли с гиперспектрометром с показателем пространственного разрешения 7 м/пиксель. По данным разработчиков, такая разрешающая способность превышает показатели как российских, так и зарубежных крупных космических аппаратов гиперспектрального мониторинга Земли. Прибор оснащен мощным длиннофокусным объективом отечественного производства и предназначен для работы в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне — VNIR-диапазоне от 400 до 1000 нм. Количество спектральных каналов — от 150 до 300. Прибор уже успешно прошел стендовые испытания в лаборатории «Спутникс» и готов к работе на орбите.
- АО "ГЛОНАСС" представило первый российский мобильный терминал спутниковой связи, способный обеспечить персональную спутниковую связь в любой точке России на базе отечественных геостационарных спутников. Устройство имеет компактные размеры (24x24x5 см) и весит менее 1,5 кг, что делает его удобным для переноски и использования в полевых условиях. Терминал может обеспечить двустороннюю голосовую связь, поддерживает Wi-Fi-подключение для смартфонов и IoT-устройств. Разработка может использоваться в труднодоступных территориях и в зонах без покрытия сотовой связи.
- На территории и инфраструктурной базе Национального исследовательского ядерного университета (НИЯУ) МИФИ началось серийное производство плазменных двигателей для малых космических аппаратов - нано- и микроспутников (формата CubeSat и их аналогов по габаритам). Плазменная двигательная установка VERA (Volume-Effective Rocket-propulsion Assembly) разработана в Лаборатории плазменных ракетных двигателей НИЯУ МИФИ. Двигатели такого типа используются в космическом пространстве на околоземной орбите и выполняют несколько функций: корректируют орбиту космического аппарата, позволяя увеличивать срок службы самого спутника и, соответственно, установленной на нем полезной нагрузки; позволяют выстраивать и оптимально распределять над земной поверхностью аппараты, входящие в многоспутниковые группировки. По данным разработчиков, потенциальный спрос только российских покупателей составляет около 70 установок в год.

## 1.2.3. Мониторинг технологического развития в России: транспорт

### Автомобильный транспорт

- Исследователи из Центра когнитивного моделирования Московского физико-технического института и Института искусственного интеллекта AIRI предложили новый алгоритм планирования траектории при движении беспилотного автомобиля в плотном транспортном потоке. Алгоритм позволяет беспилотному автомобилю безопасно маневрировать во время движения, например, менять полосу движения или обгонять другие транспортные средства. По словам разработчиков, технология обеспечивает общий анализ ситуации на дороге и соответствующее планирование движения. Это дает возможность избегать заведомо неосуществимых с физической и технической точек зрения траекторий движения. При принятии решения программа каждую секунду оценивает расположение соседних объектов и прогнозирует их траектории. Затем она из множества вариантов выбирает оптимальный и, реализуя его, генерирует порядок действий, отдавая команды на приводы. При этом, по сравнению с другими базовыми методами управления беспилотными транспортными средствами, на выполнение маневров новой системе требуется гораздо меньше времени. Проведенное компьютерное моделирование продемонстрировало, что алгоритм позволяет управляющему устройству беспилотных транспортных средств с эффективностью, близкой к 100%, выполнять планирование и осуществление маневров.

### Беспилотники

- Холдинг "Росэлектроника" (ГК "Ростех") разработали и успешно испытали мобильный антидроновый комплекс «Леший». Комплекс размещается на крыше автомобиля и формирует помехи для каналов управления FPV-дронов, создавая защитный купол. Радиус действия комплекса - не менее 250 м, он способен работать и стационарно, и в движении. Комплекс может применяться для защиты от дронов как транспортных средств, так и промышленных объектов.
- Первый в России беспилотный трамвай проехал 400 км (на середину июля 2024 г.) по улицам Москвы. При этом трамвай с помощью искусственного интеллекта ни разу не нарушил ПДД и смог избежать более 20 ДТП. Эффективность движения беспилотного ТС обеспечивает система лидаров, которая сканирует пространство с помощью лазерных лучей и формирует трехмерную картину окружающей обстановки с ее последующей передачей системе ИИ, управляющей трамваем.

## 1.2.4. Мониторинг технологического развития в России: роботы и машины

- Компания «РТ-Техприемка» (ГК «Ростех») разработала универсальный промышленный манипулятор, предназначенный для выполнения широкого спектра задач, от перемещения, сборки и выгрузки до покрасочных работ. 6 степеней подвижности позволяют в радиусе до 950 мм выполнять различные движения, аналогичные двигательным функциям человека. При этом небольшая масса и модульная конструкция обеспечивают встраиваемость манипулятора в технологические процессы в ограниченном пространстве. С учетом того, что ключевые элементы манипулятора отечественного производства, разработка должна позволить заменить импортные аналоги после ухода из России многих зарубежных производителей робототехники.
- Инженеры Московского физико-технического института (МФТИ) создали первого в России робота для перевозки грузов внутри склада. Для ориентации на территории склада робот имеет систему навигации, которая опирается на размещенные на потолке помещения магнитные метки. Также аппарат имеет несколько систем безопасности, включая систему определения человек. Разработчики провели испытания робота-кладовщика на макет-площадке с масштабом 1:10, которая имитировала склад площадью 600 м<sup>2</sup> с 12-метровыми потолками. В настоящее время (середина августа 2024 г.) проводятся испытания на реальной складской площадке. Внедрение такого робота позволит отказаться от водителей погрузочно-разгрузочных машин, повысит эффективность и безопасность складских служб.
- В Московском техническом университете связи и информатики (МТУСИ) разработали захват для роботов-манипуляторов. Новый захват работает на сжатом воздухе и использует магнит. Благодаря этому он может легко поднимать и перемещать металлические детали разных форм и размеров. Главное преимущество изобретения – оно хорошо работает вместе с компьютерным зрением: робот может самостоятельно находить предметы и точно их захватывать. Устройство может поднимать грузы различной формы массой до 5,7 кг (есть версии на 15 и 17 кг). Испытания захвата на роботе Kuka KR4 R600, проведенные разработчиком, показали отличные результаты. Разработка может использоваться в производственных операциях для сортировки деталей, а также в опасных для людей условиях.

## 1.2.5. Мониторинг технологического развития в России:

### ИКТ

#### Телекоммуникационные технологии

- Компании «Спутниковая система «Гонец» и «Геоскан» (обе г. Москва) провели совместный эксперимент по управлению беспилотником через спутник. БПЛА «Геоскан 201» оснастили экспериментальным бортовым модемом «Гонец» и антенной в специальном облегченном форм-факторе. В ходе эксперимента осуществлялась передача информации о БПЛА (местоположение, телеметрические данные) через спутник в центр обработки данных спутниковой системы «Гонец», а также обратная передача команд управления БПЛА также через спутник. Всего было проведено 6 полётов, в ходе которых получено 218 сообщений с телеметрией беспилотника на FTP-сервере системы «Гонец» и переданы три информационных сообщения с командами управления в полёте по обратной связи. Технология может быть востребована для организации полетов БПЛА на территориях, где недоступны другие каналы связи (горная, лесная местность, поверхность моря и т.д.).

#### Информационные технологии

- ЦНИИ «Циклон» (г. Москва) разработал нейросеть для автоматизации работы оптических средств обнаружения беспилотников. Такие системы сканируют небо вокруг охраняемых зон, а разработанная нейросеть позволяет перевести их работу в полностью автономный режим. При этом, по данным разработчиков, использование нейросети примерно на 40% увеличивает дальность действия систем обнаружения БПЛА. Технология может применяться в системах защиты объектов от проникновения БПЛА (например, на объектах критической инфраструктуры).
- Научная группа Российского квантового центра и Физического института имени П. Н. Лебедева РАН разработала 50-кубитный ионный квантовый компьютер – самый мощный в России на данный момент. В основе компьютера – технология кудитов, которую российские исследователи начали применять третьими в мире после Австрии и США (такую же разработку имеет и Китай). Кудит (qudit, quantum d-git) – это расширенная версия кубита, описываемая квантовой информацией суперпозиций  $d$ -состояний (отсюда «d» в названии термина), где  $d$  – целое число более 2 (2 – это именно случай кубита). Т.е. кудит, как и кубит, оперирует состояниями одновременно логического нуля, единицы и, уже в отличие от кубита, дополнительных логических значений. Таким образом, Россия вошла в число 6 стран мира, имеющих квантовые компьютеры на ионах в 50 кубитов и более.

## 1.2.6. Мониторинг технологического развития в России:

### новые материалы, нанотехнологии, оптика

#### Оптика

- Уральский оптико-механический завод им. Э.С. Яламова (УОМЗ) холдинга «Швабе» (г. Екатеринбург, ГК «Ростех») разработал геодезический прибор Тахеометр 6Та1, в котором погрешность измерения углов уменьшена до 1 угловой секунды. Прибор, первый такого рода в России, предназначен для высокоточных геодезических съемок, сочетает функции теодолита, нивелира и дальномера, поэтому способен определять координаты, измерять расстояния, вертикальные и горизонтальные углы. Погрешность измерений не превышает 0,5 угловой секунды, что в несколько раз ниже, чем у предшествующих моделей.
- Специалисты НИИ «Полус» им. М. Ф. Стельмаха холдинга «Швабе» (г. Москва, ГК «Ростех») разработали первый российский лазерный сканер для системы весогабаритного контроля автотранспорта. Прибор состоит из лазерного излучателя, фотоприемника и сканирующего модуля, заключенных в единый корпус. Он способен измерять габариты любого автотранспорта, который движется на скорости до 100 км/ч, с точностью до 20 мм. По состоянию на начало сентября 2024 г. разработка проходила подготовку к финальным испытаниям перед организацией серийного производства. Производство таких установок позволит практически полностью отказаться от импортных аналогов.

#### Новые материалы

- ОАО «Научно-исследовательский технологический институт «Прогресс» (г. Ижевск, ГК «Ростех») разработало технологию создания металлических деталей с помощью электронно-лучевой сварки. Принцип технологии подобен 3D-печати: металлическая заготовка плавится электронным лучом и слой за слоем формирует деталь. Новый метод обеспечивает высокую точность и предсказуемость результатов, что важно для серийного производства и ремонта деталей. В ходе испытаний специалисты смогли «вырастить» прочный управляющий электрод. Специально разработанный модуль для создания деталей таким способом можно установить на роботизированные сварочные комплексы, что расширит их функционал.
- В «ОДК-Сатурн» (г. Рыбинск, ГК «Ростех») разработали два новых коррозионностойких жаропрочных сплава для лопаток морских газотурбинных двигателей. Новые материалы выдерживают до 1000°C и устойчивы к агрессивной морской среде, превосходя по соответствующим показателям существующие аналоги. Такие характеристики позволят повысить мощность и износостойкость двигателей и создать возможности для разработки новых морских силовых установок.

## 1.2.7. Мониторинг технологического развития в России:

### медицина и биотехнологии

#### Медицинское оборудование

- В Башкирском государственном медицинском университете (БГМУ, г. Уфа) разработали гель для биопринтинга имплантируемых тканей и органов «ALLOINK». Основой для геля служит диспергированный коллаген, схожий с человеческим. При этом не применяются какие-либо химические фиксаторы. Таким образом достигается биосовместимость и снижаются риски отторжения и побочных эффектов при использовании нового материала. Физические свойства геля позволяют использовать его для 3D-печати клеток тканей и органов без потери регенераторного потенциала, а получаемые на его основе биоинженерные каркасы обладают высокой механической прочностью, эластичностью и гибкостью. В дальнейшем ткани и органы, напечатанные с использованием нового геля, могут быть имплантированы в человека, что уменьшит проблему нехватки донорских материалов.

#### Биотехнологии

- Инженеры из Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ) и биотех-лаборатории Neiry (г. Москва) разработали решение, позволяющее управлять автомобилем без рук — с помощью волновой активности головного мозга и датчиков акселерометра. Нейроинтерфейс Neiry снимает показатели электроэнцефалограммы (ЭЭГ) головного мозга человека, отслеживает движение головы и ФПГ (данные на основе пульсометрии). Затем эти данные передаются на компьютер, опираясь на которые специально разработанный алгоритм управления отдает команды по движению автомобиля. При этом алгоритм использует сразу несколько каналов связи с телом человека, что повышает его эффективность (например, учитывает показатели концентрации на основе ритмической активности мозга с учетом позы водителя). В ходе презентации автомобиль «ГАЗель Next», оснащенный новой системой управления, проехал по закрытой территории с «водителем», который управлял машиной с использованием только нейроинтерфейса.

## 1.2.7. Мониторинг технологического развития в России: импортозамещение

### Энергетика

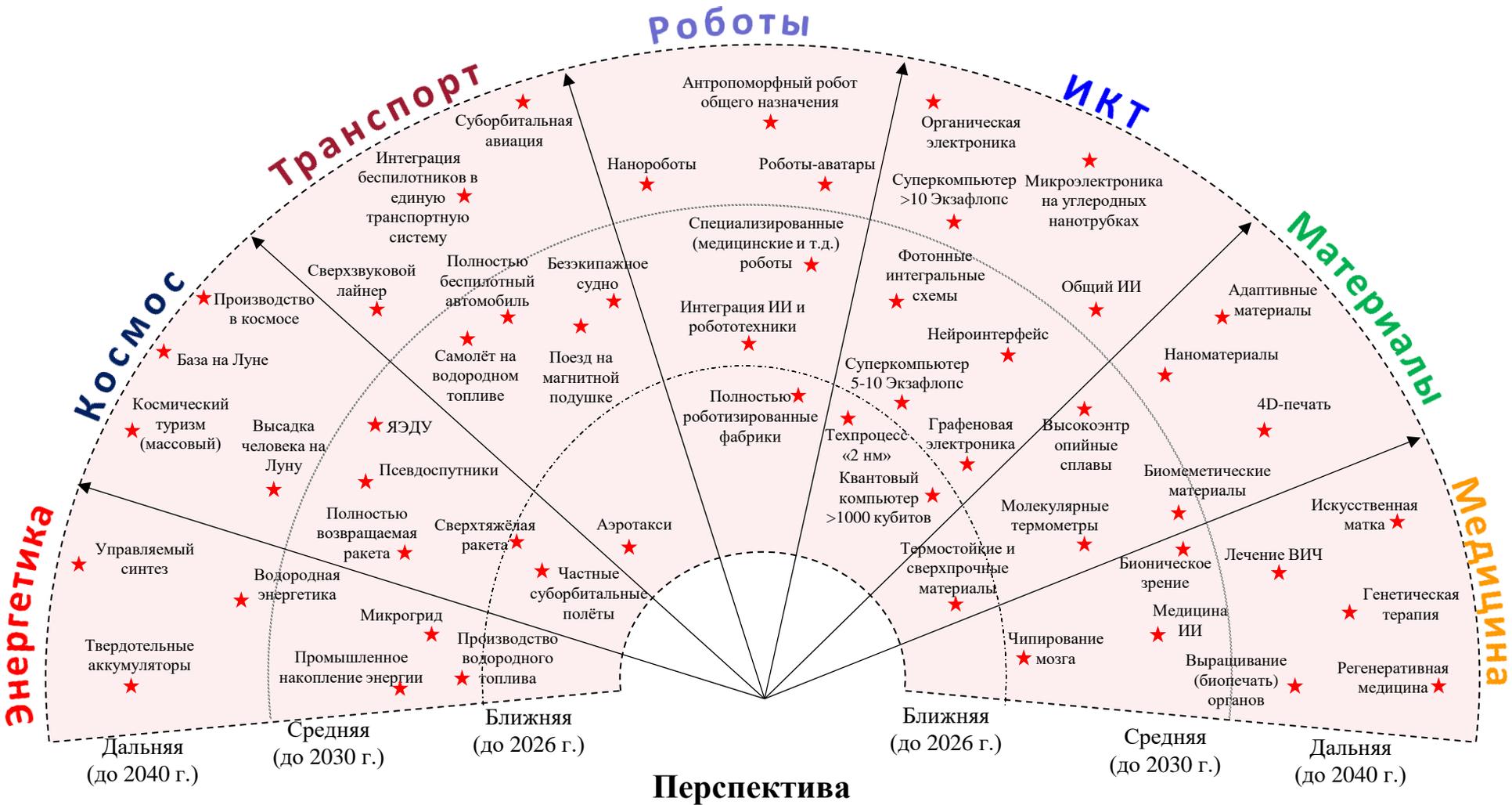
- Компания «Технопромэкспорт» (ГК «Ростех») в ходе комплексных испытаний генерирующего оборудования 3-го энергоблока ТЭС «Ударная» (Краснодарский край) впервые задействовала отечественную газовую турбину большой мощности ГТД-110М производства Объединенной двигателестроительной корпорации. ГТД-110М – первая российская турбина такого класса - разработана для замены импортных аналогов и предназначена для использования в составе газотурбинных энергетических и парогазовых установок. В ходе испытаний оборудование энергоблока отработало 72 часа при максимальной нагрузке и подтвердило заявленные технические характеристики.
- Новосибирский завод радиодеталей «Оксид» (холдинг «Росэлектроника», ГК «Ростех») произвел и поставил первую партию промышленных аккумуляторов для источников бесперебойного питания для телекоммуникационного оборудования. В основе аккумуляторных батарей - промышленные кислотно-свинцовые аккумуляторы, выполненные по AGM-технологии. Такие батареи применяются в составе источников резервного питания на автоматизированных телефонных станциях, в оборудовании автоматического оповещения по телефонной связи и серверах и т.д. Аккумуляторы способны работать при широком диапазоне температур, сохранять исходную емкость после перезарядки даже при падении напряжения ниже порогового уровня в течение длительного времени. Это обеспечивает стабильное энергоснабжение телекоммуникационного оборудования. Производимые аккумуляторы по техническим характеристикам не уступают зарубежным аналогам, а производственная мощность завода – 60 тыс. аккумуляторов в год – позволит снизить зависимость от импортных изделий.

### Оптика

- НПП «Пульсар» (холдинг «Росэлектроника», ГК «Ростех», г. Москва) разработало малоразмерную камеру технического зрения весом всего 500 г. Ключевой особенностью камеры – разработанный отечественными специалистами кремниевый матричный фотоприёмник, формирующий изображения. Это позволяет отказаться от импортных поставщиков. Камера сможет интегрироваться в существующую систему заказчика и записывать на сервер потоковое видео с разрешением 1280×1024 пикселя. Время непрерывной работы камеры превышает 10 тыс. часов. Камера может применяться в робототехнике, для непрерывного контроля технологических процессов на автоматизированных производственных линиях, системы видеомониторинга и т.д.

## **2. Технологические тренды в мире**

# 2.1. Мировой технологический радар



## 2.2.1. Мониторинг технологического развития в мире: энергетика

### Электроэнергетика

- Компания Mingyang Smart Energy (Китай) разработала «двухголовую» ветряную турбину OceanX. Это первая в мире одноплатформенная установка, оснащенная двумя ветряными турбинами, совокупной мощностью — 16,6 МВт (сопоставимо с самыми мощными традиционными ветряными турбинами). На платформе по V-образной схеме установлены 2 турбины MySE16.6(T) с диаметром ротора 182 м. Благодаря такой конструкции платформа общей массой около 16,5 тыс. т. Способна выдерживать 5-балльный ураган со скоростью ветра до 260 км/ч.
- В Китае в провинции Ганьсу (центральный район страны) построена первая в мире двухбашенная солнечная электростанция мощностью 1,8 млрд кВт•ч в год. Станция, действующая по принципу CSP (концентрированная солнечная энергия), включает 2 башни высотой 200 м и систему из 30 тыс. зеркал, расположенных концентрическими кругами. Зеркала фокусируют солнечный свет на вершинах башен, где находятся специальные приемники. Эти приемники содержат расплавленную соль, выступающую в качестве накопителя тепла. Затем тепло направляется на выработку пара и электроэнергии. Поля зеркал двух башен пересекаются, и зеркала из зоны перекрытия могут направлять свет в любую из башен. Это, по данным разработчиков станции, повысит ее эффективность на 24%. Повышение эффективности должна обеспечить 94%-я отражающая способность зеркал. Предполагается, что новая станция станет частью комплекса по выработке чистой энергии, состоящего из фотоэлектрических панелей и ветряных турбин. Новая электростанция позволит сократить ежегодные выбросы углекислого газа на 1,53 млн. т.
- Ученые Нанкинского университета почты и телекоммуникаций (г. Нанкин, Китай) разработали гибкие литий-ионные батареи. Это стало возможным благодаря полимерному электролиту, способному быстро транспортировать ионы лития и при этом выдерживающему растягивание в 50 раз и другие деформации. Батарея представляет собой многослойный "бутерброд", состоящий из прослойки гибкого электролита на базе солей лития, имидазола, этиленгликоля и метилакрилата, электродов на базе лития, углерода и серебряных нанопроводов, а также гибких защитных подложек. Новая батарея может растягиваться вдвое без потери свойств, при этом имеет значительно больше циклов заряда и в 6 раз большую емкость, чем аналоги с жидким электролитом. Разработка может использоваться для питания различной гибкой носимой и вживляемой электроники.

## 2.2.2. Мониторинг технологического развития в мире:

### КОСМОС

- Китай провел успешные космические испытания своего первого спутника связи с полностью электрической силовой установкой Asia-Pacific-6E (APStar-6E). Аппарат был выведен в космос еще в январе 2023 г., после чего, отделившись от подъемного модуля, с помощью двух холловских ионных двигателей в автономном режиме (впервые в мире) начал менять орбиту и к середине июня 2024 г. вышел на геосинхронную орбиту для проведения испытаний. APStar 6E оснащен телекоммуникационным оборудованием с высокой пропускной способностью (более 30 Гбит/с), формирующей 25 пользовательских лучей Ku-диапазона (спутниковое телевидение) и три луча Ka-диапазона (радиосвязь и радиолокация) для работы с наземной шлюзовой станцией. Заявленный срок работы спутника на орбите составляет 15 лет. Успешные испытания открывают возможности для дальнейшего развития спутников на ионных двигателях с системами автономного управления.
- Солнечный зонд Parker (NASA, США) 30 июня 2024 г. в 20-й раз приблизился к Солнцу и превзошел собственные рекорды и по приближению к Солнцу, и по скорости. Так, космический аппарат приблизился к звезде на расстояние около 7,3 млн. км (для сравнения: расстояние от Солнца ближайшей к нему планеты Меркурий составляет около 58 млн. км), при этом скорость движения Parker составила 635266 км/ч. Это максимальная скорость движения космического аппарата в истории (и в целом объекта, созданного человеком). При этом в декабре 2024 г., после гравитационного маневра вокруг Венеры, зонд приблизится к Солнцу на расстояние 6,1 млн. км при скорости 692 018 км/ч.
- Китай провёл испытания нового двигателя YF-75E, работающего на жидком водороде и жидком кислороде. Двигатель предназначен для использования в третьей ступени ракеты Long March 10 – трехступенчатой ракеты высотой около 90 м, которую планируется использовать для полета на Луну. Точных данных об испытаниях не приводится, однако разработчик сообщил, что была проверена возможность длительной работы двигателя. Успешные испытания свидетельствуют о прогрессе Китая в разработке тяжелой ракеты-носителя. Такая ракета может использоваться для вывода массивных грузов на околоземную орбиту, а также для межпланетных полетов.
- Ученые Университета Лестера, Лаборатории космических наук Малларда (MSSL), Открытым университетом в Соединённом Королевстве (все - Великобритания) и нескольких институтов в странах Европы совместно разработали рентгеновский телескоп для изучения солнечных ветров и их взаимодействия с магнитосферой Земли. Мягкий рентгеновский формирователь изображений (SXI) - ключевой элемент исследовательской станции солнечного ветра и магнитосферы, SMILE, совместной научной миссии Европейского космического агентства (ESA) и Китайской академии наук (CAS). SXI представляет собой широкоугольный рентгеновский телескоп, который использует микропористую оптику для спектрального картирования местоположения, формы и движения границ магнитосферы Земли.

## 2.2.3. Мониторинг технологического развития в мире:

### транспорт

#### Авиация

- Стартап по производству дронов A.L.I. Technologies (Япония) выпустил в продажу летающий мотоцикл – хOVERбайк XTurismo Limited Edition. Устройство оснащено пропеллерами, а на земле оно опирается на полозья. Летающий мотоцикл оснащен обычным двигателем, а также четырьмя двигателями с аккумуляторным питанием. Скорость полета — до 100 км/ч, продолжительность — до 40 минут. Вес аппарата составляет 300 кг, размеры — 3,7 м на 2,4 м. Цена летающего мотоцикла составляет 77,7 млн йен (\$680 000). Создатели хOVERбайка рассчитывают, что такое транспортное средство будет востребовано в качестве альтернативы загруженным дорогам Японии.
- Компания Boom Supersonic (США) сообщила о втором успешном демонстрационном полете сверхзвукового самолёта XB-1 (первый состоялся в марте 2024 г.). Во время второго полёта XB-1 стартовал с космодрома Мохаве в Калифорнии и находился в воздухе около 15 минут. Самолёт поднялся выше, чем в первый раз: ему удалось набрать высоту в 3170 м и развить скорость 445 км/ч., что пока намного ниже скорости сверхзвукового полёта (от 1230 км/ч). Во время полёта XB-1 было впервые протестировано шасси, состоялось первое включение новой цифровой системы повышения устойчивости для предотвращения крена самолёта, проверены аэродинамические характеристики самолёта и его управляемость. При этом конструкция фюзеляжа позволяет самолёту избежать звукового удара при переходе на сверхзвук, что обеспечит возможность его использования для пассажирских перевозок. Разработчики отмечают, что до достижения сверхзвуковых скоростей запланировано ещё около 10 испытательных полётов. А состоявшийся полет можно считать еще одним шагом к возвращению сверхзвуковых пассажирских перевозок: на основе XB-1 планируется создать новейший сверхзвуковой авиалайнер Boom Overture, который придёт на смену «Конкордам». Эксплуатация последних была прекращена в начале 2000-х гг. после авиакатастрофы.

#### Беспилотники

- Компания Sichuan Tengden Sci-tech Innovation (Китай) разработала и провела успешные испытания крупнейшего двухмоторного беспилотного самолета. БПЛА оснащен 2 турбовинтовыми двигателями, имеет размах крыльев 16,1 м, высоту 4,6 м и грузоподъемность 2 тонны и является самым крупным БПЛА из разработанных в Китае. Испытательный полет длился 20 минут, в ходе которого проверялись основные летные характеристики аппарата. Область применения БПЛА – грузовые перевозки (возможно, включая и военные).

## 2.2.4. Мониторинг технологического развития в мире: роботы и машины

- В Китае впервые провели успешные испытания глубоководной горнодобывающей машины на глубине свыше 4000 м. В ходе испытаний машина под названием «Кайто II», разработанная Шанхайским университетом «Цзяотун», выполнила 5 операций по погружению и добыче полезных ископаемых на морском дне на максимальной глубине 4102,8 м. При этом «Кайто II» стала первой созданной в Китае машиной, осуществившей маневренную глубоководную навигацию на морском дне со сложным рельефом и комбинированное бурение и добычу различных видов полезных ископаемых. Успешные испытания свидетельствуют о прогрессе Китая в разработке технологий океанографических исследований, разведки и освоения горнорудных ресурсов морского дна.
- Ученые из Тяньцзиньского университета (Китай) создали робота, который работает благодаря крошечному человеческому мозгу. Органоид (крошечные самоорганизующиеся трехмерные культуры тканей, полученные из стволовых клеток) мозга вырастили в лабораторных условиях из стволовых клеток человека. После этого его соединили с компьютерным чипом, который передавал команду телу робота. У робота нет органов зрения, поэтому он реагирует только на электрические и сенсорные сигналы, посылаемые нейронами, а органоид мозга активируют с помощью низкоинтенсивной ультразвуковой стимуляции. На данный момент технология имеет ряд проблем, например, недостаточное поступление к органоиду необходимых минералов и антиоксидантов. По словам разработчиков, технология может быть пригодна для изучения последствий и методов лечения повреждений горы головного мозга.
- Компания BMW (Германия) провела тестовые испытания гуманоидного робота Figure 02 на своем заводе в г. Спартанбурге (Южная Каролина, США). Робот Figure 02, разработанные компанией Figure AI (США), имеет руки с 16 степенями свободы и силу, эквивалентную человеческой. В ходе испытаний проверялось, как интегрировать гуманоидного робота в производственный процесс, как обеспечить его взаимодействие с программным обеспечением производственной линии и рабочими и т.д. Робот Figure 02 должен был вставлять детали из листового металла в крепления в рамках процесса изготовления шасси. По результатам испытаний представители BMW назвали разработки в области робототехники «многообещающими». Дальнейшее развитие таких роботов позволит им выполнять широкий спектр производственных операций, сложных, неудобных и утомительных для людей, и работать в связке «робот бок о бок с человеком».

## 2.2.5. Мониторинг технологического развития в мире:

### ИКТ

#### Информационные технологии

- Медицинский университет ВВС (AFMU), Университет Цинхуа и компания SenseTime (все - Китай) совместно разработали модель искусственного интеллекта PathOrchestra, способную анализировать широкий спектр патологических изображений более чем 20 органов человека, включая легкие, грудь и печень. Модель создана на основе набора данных, включающего 300 тыс. цифровых изображений патологии (эквивалентно 300 Тб данных). PathOrchestra способна проводить комплексный анализ и классифицировать различные виды рака, обнаруживать и идентифицировать поражения, дифференцировать подтипы рака, оценивать биомаркеры. Модель была испытана в почти 50 клинических задачах и показала точность 95%. Применение PathOrchestra с ее универсальностью в анализе большого числа органов может снизить нагрузку на врачей и повысить эффективность диагностики.

#### Коммуникации

- Исследователи из Ганноверского университета имени Лейбница (Германия) разработали новую концепцию передатчика-приёмника для передачи запутанных фотонов по оптоволокну. В ходе эксперимента разработчикам удалось передать запутанные фотоны и лазерные импульсы одного цвета (в случае фотона цвет определяется частотой группы фотонов, т.е. с какой частотой фотоны следуют друг за другом) по одному оптическому волокну. Таким образом было показано, что запутанность фотонов сохраняется даже при их передаче вместе с лазерным импульсом и новая концепция позволяет отправлять фотоны в том же цветовом канале, что и лазерный свет, сохраняя все цветовые каналы для обычной передачи данных. Ранее такой возможности не было: запутанные фотоны блокировали канал для обычной передачи данных. Новая технология решает эту проблему, что является очередным шагом к созданию квантового интернета.
- Китайская аэрокосмическая научно-техническая корпорация CASC (China Aerospace Science and Technology Corporation) 6 августа объявила об успешном запуске первой партии спутников для низкоорбитальной группировки связи Qianfan (Тысяча парусов), предназначенной для обеспечения глобального доступа в Интернет (китайский аналог сети Starlink). На полярную орбиту было выведено 18 спутников «Тысяча парусов» для компании SSST (Shanghai Spacecom Satellite Technology). Планируется что первая очередь спутниковой группировки будет состоять из 1296 спутников, 648 из которых запустят к концу 2025 г. Всего же группировка «Тысячи парусов» должна будет иметь в своем составе более 15 тысяч спутников широкополосной мультимедийной связи на низкой околоземной орбите. Реализация это проекта позволит Китаю обеспечить независимый глобальный доступ к сети Интернет.

## 2.2.6. Мониторинг технологического развития в мире:

### новые материалы, нанотехнологии, оптика

#### 3D-печать

- Исследовательская группа из Национального университета Сингапура (NUS) разработала новую технологию 3D-печати металлом для производства электроники - CHARM3D. Традиционный метод изготовления 3D-схем – метод прямой чернильной записи (DIW) – имеет тот недостаток, что обычно использует материалы, которые не являются хорошими проводниками электричества. Это требует вспомогательных материалов для удержания структуры. CHARM3D использует металл Филда — эвтектический (легкоплавкий) сплав индия, висмута и олова с низкой температурой плавления (62°C). Сплав быстро затвердевает, а низкая температура плавления позволяет с помощью термофена быстро восстановить сломанную цепь. По заявлениям разработчиков, новая технология может использоваться для изготовления компактной электроники. Так, ее уже использовали в изготовлении 3D-схем для носимых безбатарейных датчиков температуры.

#### Новые материалы

- Исследователи из Университета Британской Колумбии (UBC, Канада) разработали новый суперчёрный материал Nxylon (никс-ух-лон), который поглощает почти весь свет. Материал был получен фактически случайно в ходе экспериментов с высокоэнергетической плазмой с целью повысить водоотталкивающие свойства древесины. Измерения показали, что Nxylon отражает менее 1% видимого света, поглощая почти весь падающий на него свет. Для сравнения: обычная чёрная краска, которая поглощает около 97,5 процента света. Новый сверхчёрный материал может найти применение в ювелирных изделиях и предметах роскоши (часы), в астрономии (для снижения рассеяния света), солнечных батареях.
- Учёные из Аргоннской национальной лаборатории Министерства энергетики США, Университета Райса и Национальной лаборатории Лоуренса в Беркли DOE (США) определили мезомасштабные свойства релаксорного сегнетоэлектрика под действием электрического поля. Релаксорный сегнетоэлектрик – материал из сложной смеси свинца, магния, ниобия и титана в форме тонкой плёнки, который может изменить форму под действием напряжения. Это происходит за счет того, что составляющие материал крошечные пары положительных и отрицательных зарядов, или диполей, группируются в кластеры, называемые «полярными нанодоменами». Под действием электрического поля диполи выстраиваются в одном направлении, заставляя материал менять форму или деформироваться. И наоборот, механическая деформация может изменить направление диполя и создать электрическое поле. Используя технологию когерентной рентгеновской нанодифракции, доступную через жесткий рентгеновский нанозонд в Аргоннской национальной лаборатории, учёные смогли составить карту мезомасштабных структур внутри релаксора. Это, в частности, открывает возможности для проектирования новых, более компактных, электромеханических устройств.

## 2.2.7. Мониторинг технологического развития в мире:

### медицина и биотехнологии

#### Медицинские технологии

- Специалисты китайского Госпиталя грудной клетки (Shanghai Chest Hospital, специализируется на лечении сердечно-сосудистой системы, легких, пищевода, трахеи и средостения) провели первую дистанционную операцию по удалению онкологического образования в легких. Оперирующий доктор в г. Шанхае управлял роботизированной системой по каналу связи 5G (разработана китайской компанией MedBot), а пациент и бригада врачей находились на расстоянии около 5 тыс. км в г. Кашгаре Синьцзянского автономного района. Подготовка к операции заняла год и включала дистанционную операцию на животном. Освоение технологии дистанционной хирургии расширяет возможности и доступ пациентов (например, проживающих на удаленных территориях) к соответствующим высокотехнологичным медицинским услугам.
- Специалисты госпиталя Наньфан (Гуанчжоу, Китай) разработали капсульную эндоскопическую систему. Для проведения эндоскопического исследования пациенту достаточно проглотить капсулу и принять определенное положение. Устройство делает снимки желудка и кишечника, которые можно получить с помощью мобильного приложения на телефон. Процедура занимает примерно 20 минут и, в отличие от традиционных методов эндоскопии, не несет болевых ощущений. Теперь устройству предстоит пройти клиническое тестирование. Такая разработка позволит проводить эндоскопию в домашних условиях и осуществлять диагностику в удаленном режиме.
- Компания Gilead Sciences (США) представила результаты клинических испытаний нового препарата для антиретровирусной терапии ВИЧ. Препарат ленакапавир является ингибитором капсидов (вещество, замедляющее или останавливающее химические реакции) и предотвращает самокопирование вируса внутри ядра здоровых клеток, а также изменяет вирусный геном, не позволяя ему заразить другие клетки. Препарат вводится подкожной инъекцией (достаточно 2 инъекций в год) и может действовать на разных стадиях жизненного цикла вируса. Клинические испытания показали 100%-ю эффективность препарата в качестве средства профилактики ВИЧ.
- Техасский институт сердца и компания ViVACOR (США) сообщили об успешной операции по вживлению человеку искусственного механического сердца. Механическое сердце, разработанное ViVACOR, представляет собой бивентрикулярный насос из титана, оно не имеет клапанов или камер, а единственная подвижная часть - двухсторонний ротор на магнитном подвесе с левыми и правыми лопастями, расположенными в двух отдельных камерах насоса. Таким образом получается двухстороннее центробежное колесо, которое продвигает кровь из соответствующих камер насоса в легочный ствол и аорту. Разработка может стать хорошим временным решением для людей с тяжелой сердечной недостаточностью, ожидающих полноценного донорского сердца.

**тема номера:**

## **3. Квантовые технологии**

**Тема номера посвящена развитию квантовых технологий** в трёх основных направлениях: квантовые сенсоры, квантовые вычисления, квантовая связь и криптография.

**Квант** в физике — это минимальная неделимая часть какой-либо величины: энергии, углового момента, электромагнитного поля и т.д.

Рождение **квантовой физики** традиционно относят к работе Макса Планка, который высказал предположение о том, что атомы излучают электромагнитные волны не непрерывно, а отдельными порциями энергии (квантами). Дальнейшие исследования подтвердили правильность его выводов и привели к формированию нового направления науки.

Квантовая физика предполагает исследование **минимальных физических явлений и величин**, что в перспективе может привести к появлению нового поколения техники, основанного на квантовых явлениях.

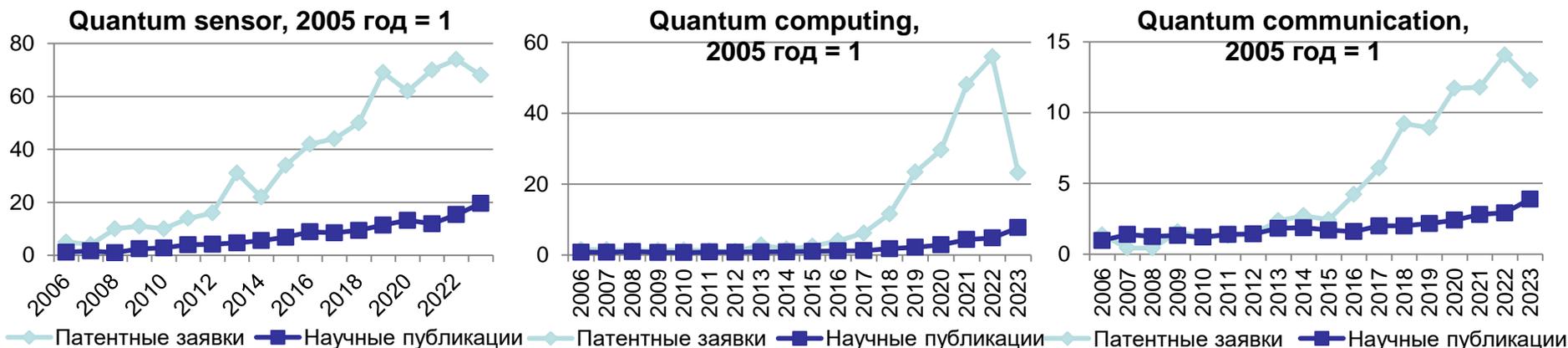
Поскольку квантовая физика работает с минимальными (из известных на сегодняшний день) физическими объектами, то технологии, основанные на квантовых эффектах, позволяют получать гораздо более высокую точность измерений, чем традиционные подходы.

Элементы, с которыми работает квантовая физика, проявляют неожиданные с точки зрения классической науки свойства, которые, с одной стороны, мешают дальнейшей миниатюризации микросхем, а с другой стороны позволяют получать технические решения, не доступные за пределами квантовой физики.

Таким образом, квантовые технологии открывают новый этап развития науки и техники с опорой на качественно иной уровень физических явлений.

### 3.0. Квантовые технологии

В 2000-х годах наблюдался значительный рост **патентных заявок\***, связанных с **квантовыми сенсорами**. Во второй половине 2010-х годов рост заметно ускорился, так что в 2022 году количество поданных патентных заявок по квантовым сенсорам в 74 раза превысило уровень 2005 года. В то же время наблюдается уверенный рост количества **научных публикаций\***, связанных с **квантовыми сенсорами**, что, вероятно, отражает их использование в научных исследованиях по естественным и техническим наукам. Хронологически, квантовые сенсоры стали первым направлением квантовых технологий, в котором начался стремительный рост патентных заявок, что отражает начало их практического применения.



В области **квантовых вычислений** произошёл взрывной рост во второй половине 2010-х годов по количеству поданных **патентов**. В 2022 году количество поданных патентов **в 56 раз** превысило уровень 2005 года или **в 22 раза** превысило уровень 2015 года. Публикации по этой теме заметно отстают, но тоже демонстрируют стремительный рост с начала 2020-х годов.

В области **квантовых коммуникаций** во второй половине 2010-х годов начался рост количества **патентных заявок**. В 2022 году количество патентных заявок **в 14 раз** превысило уровень 2005 года и **в 5 раз** превысило уровень 2015 года. В начале 2020-х годов начался рост количества **научных публикаций**.

Судя по динамике патентных заявок и научных публикаций, **квантовые сенсоры** в значительной мере раскрыли свой потенциал. Есть работающие образцы и понятны многие направления их применения. **Квантовые компьютеры** переживают бурное технологическое развитие. В ближайшие годы станет понятно, какие образцы являются наиболее перспективными и как они будут применяться. Развитие **квантовых коммуникаций**, вероятно, зависит от успехов предыдущих двух направлений и во многом опирается на существующую техническую базу волоконно-оптической связи, в результате чего это направление показывает менее быстрый рост.

\* Использованы данные сервисов scholar.google.com и patents.google.com по опубликованным англоязычным научным статьям и поданным патентным заявкам, в названии которых упомянуты квантовые сенсоры, вычисления и коммуникации.

## 3.1. Квантовые сенсоры: от средства познания мира к практическому применению

**Квантовые сенсоры** предполагают использование квантовых эффектов для измерения физических величин (магнитного или гравитационного поля, температуры, давления и других).

Поскольку в основе измерений лежат эффекты на уровне атомов и элементарных частиц, то **достигается высокая точность** измерений, на несколько порядков превосходящая неквантовые аналоги.

В самом широком смысле использование квантовых сенсоров позволяет:

- проводить научные исследования, в т.ч. уточняя и развивая квантовую физику,
- развивать квантовые вычисления и квантовую связь,
- использовать квантовые сенсоры в других сферах практической деятельности.

В 2022 году объём мирового рынка квантовых сенсоров превысил **278 млн долл США**. К 2033 году ожидается рост до 850 млн долл США\*.

### Некоторые примеры:

**Квантовые часы** позволяют измерять время на основе периодического процесса, происходящего на уровне атомов или молекул. Из-за высокой частоты таких процессов достигается особая точность измерения времени, что используется для высокоточной инерциальной навигации или синхронизации каких-либо процессов.

**Квантовые акселерометр, гироскоп и гравиметр** опираются на атомную интерферометрию. При движении атомов в гравитационном поле или в системе отсчета, движущейся с ускорением, квантовое состояние атомов приобретает набег фазы, который можно измерить интерферометрическими методами и вычислить величину вызвавшей его силы.

Квантовые часы, акселерометр и гироскоп в совокупности позволяют реализовывать **высокоточную инерциальную навигацию** без использования спутникового сигнала.

**Квантовый гравиметр** предназначен для измерения малейшего изменения гравитационного поля, что может быть использовано для поиска полезных ископаемых, подземных полостей или крупных предметов.

**Квантовые датчики магнитного поля** применяются для магнитоэнцефалографии - измерения магнитных полей, возникающих вследствие электрической активности мозга. Они отражают малейшие изменения функции коры головного мозга и глубоких мозговых структур, обеспечивая миллисекундное временное разрешение, недоступное другим методам исследования мозговой активности, что используется, например, при планировании операций.

\* Quantum sensor market. URL: <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/quantum-sensors-market.asp>

## 3.2. Квантовые вычисления:

### от помех для классических компьютеров к новому классу вычислительных систем

#### Предпосылки для создания квантовых вычислений

- Развитие классической электронно-вычислительной техники упирается в **невозможность дальнейшего уменьшения размера транзисторов из-за влияния квантовых эффектов**. Построение классических вычислений на квантовых элементах невозможно из-за того, что они находятся сразу в двух состояниях (принцип суперпозиции). Поэтому, дальнейшее развитие электронно-вычислительной техники будет происходить в области квантовых вычислений.
- С другой стороны, для многих полезных задач время их решения на классическом компьютере растёт экспоненциально от размера задачи, что делает их практическое решение невозможным уже при небольшом размере задачи. Идея **квантовых вычислений** в том, чтобы создать вычислитель, мощность которого растёт экспоненциально с ростом количества базовых элементов – кубитов.

Поскольку кубит, в отличие от бита, одновременно принимает значение 0, 1 и все промежуточные значения, то **сложность квантовой вычислительной системы растёт экспоненциально** при добавлении новых кубитов, а не линейно, как в классическом компьютере. Теоретически, это может позволить решать за линейное время задачи, которые на классическом компьютере требуют экспоненциального времени. Но пока существующие квантовые алгоритмы предлагают более скромные решения.

#### Примеры квантовых алгоритмов

**Алгоритм Шора** позволяет с вероятностью не менее 50% решить задачу факторизации (разложения числа на простые множители) или задачу дискретного логарифмирования за полиномиальное время. Классическому компьютеру для решения этих задач потребуется экспоненциальное время, т.е. при достаточно больших числах эти задачи не могут быть решены за разумное время, что позволяет использовать их в криптографической защите информации с открытым ключом. Практическая реализация алгоритма Шора для достаточно больших чисел позволит взламывать шифрование, использующее факторизацию или дискретное логарифмирование.

**Алгоритм Гровера** позволяет решать задачи класса NP (например, поиск в справочнике) в общем виде с квадратичным ускорением по сравнению с классической моделью. Т.е. если для классического компьютера время решения задачи класса NP растёт по экспоненте от размера задачи, то алгоритм Гровера позволяет решить эту же задачу за время, в котором степень экспоненты будет в два раза меньше.

Таким образом, пока даже на уровне алгоритмов квантовые компьютеры могут дать ограниченные выгоды при решении некоторых классов задач.

В настоящее время тестируются **комбинированные алгоритмы**, в которых квантовая часть улучшает работу классического алгоритма.

## 3.2. Квантовые вычисления:

### от помех для классических компьютеров к новому классу вычислительных систем

### В настоящее время прорабатываются несколько вариантов физической реализации квантовых компьютеров

**1. Квантовые компьютеры на базе сверхпроводников** считаются наиболее проработанным и распространённым вариантом, над которым работают технологические гиганты Google и IBM. Ключевым физическим элементом являются два слоя сверхпроводника, разделённых тонким слоем диэлектрика. Для их изготовления могут использоваться технологии электронной литографии и напыления, что облегчает их производство на существующих производственных мощностях. Для достижения сверхпроводимости требуется охлаждение до десятых или сотых долей градуса по шкале Кельвина. Основным недостатком существующих квантовых компьютеров – короткое время когерентности, т.е. способности осуществлять вычисления, которое длится не более 1/1000 доли секунды.

В качестве примера можно привести развитие квантовых компьютеров на сверхпроводниках компании IBM, которая уже в 2016 году запустила онлайн сервис IBM Quantum Platform, предоставляющий удалённый доступ к квантовым компьютерам на сверхпроводниках. В 2020 году IBM представила квантовый компьютер Hummingbird на 65 кубитах, в 2021 году - IBM Eagle 127 кубитов, в 2022 году - Osprey 433 кубита, в 2023 году – Condor 1121 кубита. Однако, более перспективным считается квантовый компьютер IBM Heron со 133 кубитами, но в 5 раз меньшим % ошибок по сравнению со 1121 кубитным Condor. IBM планирует сосредоточиться на повышении качества вычислений за счёт повышения согласованности, стабильности и точности, а не на наращивании количества физических кубитов. Второе направление развития – распараллеливание вычислений между несколькими квантовыми и классическими компьютерами с использованием преимуществ каждого вычислителя. В 2019 году компания Google AI заявила о достижении квантового превосходства\* на компьютере Sycamore на 53 кубитах. Заявление подверглось критике со стороны IBM. Интересно отметить, что дальнейшие достижения на компьютере Sycamore были выполнены с использованием 31, 20 и 12 кубитов.

В 2021 году специалисты Университета науки и технологии Китая представили компьютер Zuchongzhi на 66 кубитах. В 2023 году на этой базе им удалось поставить рекорд по количеству одновременно запутанных кубитов - 51 кубит. В начале 2024 года китайская компания Origin Quantum Computing Technology представила квантовый компьютер Origin Wukong на 72 сверхпроводящих кубитах и открыла к нему удалённый доступ для исследователей из всех стран. В России специалистами МФТИ в 2024 году был представлен прототип 12-кубитного квантового компьютера на базе сверхпроводников. На нём тестируется обучение квантовых нейросетей. В планах разработчиков представить 16-кубитный квантовый компьютер до конца 2024 года.

\* Способность квантовых вычислительных устройств решать задачи, которые классические компьютеры не могут решить за разумное время.

## 3.2. Квантовые вычисления:

### от помех для классических компьютеров к новому классу вычислительных систем

**2. Квантовые компьютеры на захваченных ионных кубитах** предполагают использование ионов металла, которые захватываются в электромагнитную ловушку и охлаждаются до очень низких температур. Современные квантовые компьютеры на ионах имеют меньше кубитов, чем сверхпроводниковые, но отличаются длительным временем когерентности (десятки секунд) и высокой точностью измерений.

Компания IonQ (США) развивает квантовые компьютеры на ионах иттербия. К настоящему времени представлены однокубитные вентили на 79-ионной цепочке и сложные алгоритмы на цепочках до 35+ ионов. В России ученые из ФИАН проводят операции на 20-кубитном вычислителе из ионов иттербия. По словам разработчиков, приоритетом в их работе является повышение точности операций и расширение спектра доступных действий, а не увеличение количества кубитов.

**3. Квантовые компьютеры на оптически захватываемых нейтральных атомах** основаны на атомах металлов, которые охлаждаются до 4 градусов по шкале Кельвина и манипулируются при помощи лазерного луча. Несколько физических кубитов образуют один логический кубит с очень низкой ошибкой и возможностью масштабирования системы. Такие системы отличаются длительным временем когерентности – до 40 секунд, возможностью измерять состояние отдельных кубитов во время вычислений с целью выявления и даже исправления ошибок, высокой точностью вычислений.

В 2023 году Atom Computing в партнёрстве с Microsoft первыми представили квантовый компьютер с более 1000 кубитов. Интересно, что предыдущее поколение квантовых компьютеров Atom Computing имело около 100 кубитов, что показывает высокую масштабируемость данной технологии.

Квантовый вычислитель на основе атомов рубидия в лазерных ловушках разрабатывается в Центре Квантовых Технологий МГУ в лаборатории атомной оптики.

**4. Квантовые компьютеры на основе фотонов** реализуются на основе оптических чипов, в которых «напечатаны» массивы волноводов. Они формируют сложные структуры – интерферометры, управляя которыми можно проводить квантовые вычисления.

В 2020 году специалисты Университета науки и технологий Китая (USTC) заявили о достижении квантового превосходства фотонным квантовым компьютером Jiuzhang с 76 фотонными кубитами. Jiuzhang способен выполнять только одну задачу - гауссовский бозонный сэмплинг. Компьютер Jiuzhang 2.0 содержал 113 фотонных кубитов, а в 2023 году был представлен Jiuzhang 3.0 с 255 фотонными кубитами.

Эту технологию развивают американская компания PsiQuantum, британские ORCA Computing, Nu Quantum и TundraSystems Global, канадская Xanadu и французская Quandela.

В России квантовый компьютер на основе фотонов разрабатывают в Центре Квантовых Технологий МГУ в лаборатории интегральной оптики.

## 3.2. Квантовые вычисления:

### от помех для классических компьютеров к новому классу вычислительных систем

#### Перспективы квантовых вычислений

- В настоящее время развитие квантовых вычислений переходит **от лабораторных образцов к практически полезным системам**.
- Создаются **гибридные вычислительные системы**, в которых квантовые компьютеры выполняют определённые этапы вычислений, в которых они имеют преимущества перед традиционными компьютерами.
- Современные примеры использования квантовых вычислений имеют преимущественно научное значение. Поскольку крупные компании открывают доступ к своим квантовым компьютерам всем желающим исследователям, то большое количество команд проводят большое количество экспериментов по использованию квантовой вычислительной техники. Со временем это позволит найти удачные примеры, имеющие практическое значение.
- Развитие квантовых вычислений заключается не столько в наращивании количества физических кубитов, сколько в развитии технологий управления ими для получения практически полезного результата.
- Квантовые компьютеры на базе сверхпроводников получили преимущество на раннем этапе развития квантовых вычислений за счёт технической близости к существующей микроэлектронике, но прорабатываются и другие варианты архитектур.
- В ходе современных исследований полезные квантовые вычисления всегда сталкиваются с **ограничениями**: количество кубитов, нестабильность при большом количестве кубитов, проблемы связности, запутанности и долговечности, расстояние и возможность запутывания, корректность результатов и другие.
- Нами рассмотрено **четыре варианта физической реализации квантового компьютера**. Этот список не является исчерпывающим. Остаётся открытым вопрос о том, какая архитектура ляжет в основу нового поколения вычислительной техники или какие архитектуры займут различные ниши квантовых вычислений.
- **В России** ведутся работы по всем четырём рассмотренным направлениям квантовых вычислений.

## 3.3. Квантовые коммуникации: слом старой криптографии и рождение новой

### Взлом классической криптографии

**Алгоритм Шора** потенциально способен взломать один из распространённых методов криптографической защиты информации. В то же время, на основе квантовых эффектов возможно создать **квантовую криптографию**, безопасность которой гарантируется уже не ограничениями по вычислительной сложности, а законами физики.

Алгоритмы шифрования с открытым ключом основаны на **односторонних функциях**, которые легко посчитать в одном направлении и очень сложно – в обратном. Для зашифровки сообщения используется открытый ключ, для расшифровки – закрытый ключ. Оба ключа генерируются одним абонентом, который передаёт открытый ключ своему контрагенту, а закрытый сохраняет у себя в секрете. Контрагент шифрует сообщение при помощи открытого ключа и отправляет адресату по открытому каналу связи. **Расшифровать сообщение можно только при помощи закрытого ключа**, который есть только у получателя. Чтобы расшифровать сообщение на основе открытого ключа при помощи классического компьютера потребуется время, превышающее все разумные пределы. Однако, квантовый алгоритм Шора позволяет расшифровать сообщение при помощи открытого ключа за разумное время, в течение которого сообщение останется актуальным.

### Квантовая криптография

Если классическая криптография опирается на вычислительную сложность дешифровки перехваченного сообщения, то **квантовое распределение ключей** опирается на **невозможность считать состояние фотонов, не изменив его**.

Алгоритм квантового распределения ключей можно описать на примере протокола BB84. Алиса генерирует ключ и отправляет его Бобу. Ключ шифрования представляет собой последовательность фотонов в случайном квантовом состоянии, для каждого из которых используется один из двух базисов: вертикально-горизонтальный или диагональный.

Боб получает кубиты и применяет на них случайным образом один из двух базисов. Если базис, использованный Бобом совпал с базисом, использованным Алисой, то данный фотон (с вероятностью 89%) прочитан правильно. Записав результаты измерений квантовых состояний фотонов, Боб передаёт Алисе информацию, какие базисы он использовал. Сами результаты измерений не передаются. Алиса сообщает Бобу, какие биты ключа ему надо удалить из-за несовпадающих базисов. В результате у них получаются почти одинаковые битовые последовательности. Если злоумышленник пытается вклинуться в канал связи, то он не может прочитать сообщение, не изменив физическое состояние фотонов.

При отправке кубитов адресату, хрупкое квантовое состояние некоторых из них разрушается из-за декогеренции. Это естественное разрушение неотличимо от действий злоумышленника, прочитавшего сообщение. Поэтому для изготовления финального ключа, Алиса и Боб раскрывают друг другу часть последовательности и определяют процент ошибок. У протоколов квантового распределения ключей существует пороговое значение ошибок, при котором гарантируется секретность вырабатываемого ключа. Для протокола BB84 нормальным считается 11% ошибок.

Таким образом, квантовые технологии потенциально позволяют взломать традиционные криптографические алгоритмы и создать новые.

### 3.4. Выводы: от лабораторных образцов к новым ИТ?

Существующие квантовые технологии опираются на наименьшие известные в настоящее время физические объекты и явления, что позволяет достичь очень **высокой точности измерения**, на порядки превосходящие не квантовые аналоги.

**Высокоточные сенсоры** могут применяться в следующих областях: медицина, фундаментальная наука, промышленность, телекоммуникации, экология, военная сфера и т.д.

Квантовые эффекты, характерные для квантовых объектов, препятствуют дальнейшей миниатюризации классической вычислительной техники, но позволяют создать **новый класс вычислительных устройств**, обладающих качественным преимуществом в решении некоторых классов задач. В качестве примеров областей, в которых квантовые вычисления могут оказать большое положительное влияние можно выделить: химию, фармацевтику, материаловедение, телекоммуникации, транспорт и логистику, энергетику и другие.

Потенциальная возможность взлома существующих методов криптографической защиты информации при помощи квантовых компьютеров потребовала разработки **квантового распределения ключей**, безопасность которого гарантируется уже не вычислительной сложностью алгоритма, а законами физики. Наиболее важна защита информации с опорой на квантовые эффекты для областей телекоммуникаций, финансовой, военной и других

Квантовые технологии не заменяют традиционные ИТ, но **потенциально могут их дополнить**, что позволит получить качественно новые результаты в ряде сфер.

## Использованные источники

### Общие источники:

- Квантовая суперпозиция: какие возможности для бизнеса открывают квантовые технологии. URL: <https://sber.pro/digital/publication/kvantovaya-superpozitsiya-kakie-vozmozhnosti-dlya-biznesa-otkrivayut-kvantovie-tehnologii/>

### Квантовые сенсоры:

- Как Россия потратит 7,5 млрд руб. на развитие квантовых сенсоров. URL: [https://www.cnews.ru/articles/2020-03-26\\_kak\\_rossiya\\_potratit\\_75\\_mlrd\\_rub\\_na?ysclid=m2aavbnupf270921280](https://www.cnews.ru/articles/2020-03-26_kak_rossiya_potratit_75_mlrd_rub_na?ysclid=m2aavbnupf270921280)
- Проведён эксперимент по использованию атомных часов для квантовой навигации в полёте. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2024/05/15/145801>
- Создается квантовая замена GPS. Связь со спутниками ей не нужна вовсе. URL: [https://www.cnews.ru/news/top/2024-07-10\\_uchenye\\_sozdadut\\_kvantovuyu?ysclid=m2ac0glspc410552501](https://www.cnews.ru/news/top/2024-07-10_uchenye_sozdadut_kvantovuyu?ysclid=m2ac0glspc410552501)
- Магнитоэнцефалография (МЭГ). URL: <https://www.hse.ru/cdm-centre/meg>
- Разработан 3D квантовый акселерометр для морского транспорта. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/11/01/129859?ysclid=m2ac6n2qaa192720517>
- Без ГЛОНАСС и GPS. URL: <https://stimul.online/articles/science-and-technology/bez-glonass-i-gps/?ysclid=m2aagbuyim819878555>
- Чувствительный квант: как квантовые сенсоры применяют в медицине. URL: <https://hightech.fm/2023/03/10/quantum-sensors>

### Квантовые коммуникации:

- Шпаргалка по криптографии: что делать, если попал в проект с криптографами. URL: [https://habr.com/ru/companies/infotecs\\_official/articles/761008/](https://habr.com/ru/companies/infotecs_official/articles/761008/)
- Безопасность на физическом уровне: квантовое распределение ключей. URL: <https://proquant.ru/quants/whatisit/keys/kvantovoe-raspredelenie-klyuchey?ysclid=m237odn32u994652111>
- «Передача в одном волокне квантового и «классического» сигналов позволит снизить издержки». URL: <https://proquant.ru/quants/opinion/igor-pavlov-tekhnicheskij-direktor-kompanii-qrate-peredacha-v-odnom-voлокне-kvantovogo-i-klassichesk>

### Квантовые вычисления:

- Сысоев С. С. Введение в квантовые вычисления. Квантовые алгоритмы: учеб. пособие //Петербургского ун-та. – 2019.
- What is quantum computing? URL: <https://www.ibm.com/topics/quantum-computing>
- IBM demonstrates useful Quantum computing within 133-qubit Heron, announces entry into Quantum-centric supercomputing era. URL: <https://www.tomshardware.com/tech-industry/quantum-computing/ibm-demonstrates-useful-quantum-computing-within-133-qubit-heron-announces-entry-into-quantum-centric-supercomputing-era>
- Отчеты: Origin Quantum Computing представляет 72-кубитный квантовый компьютер. URL: <https://thequantuminsider.com/2024/01/06/reports-origin-quantum-computing-launches-72-qubit-quantum-computer/>
- IBM представила новый квантовый процессор с рекордно низким уровнем ошибок. URL: <https://www.securitylab.ru/news/544506.php>
- Китайский квантовый компьютер на 255 кубит продемонстрировал невероятную мощность. URL: <https://overclockers.ru/blog/amv212/show/114966/kitajskij-kvantovyj-kompjuter-na-255-kubit-prodemonstroval-neveroyatnuju-moschnost>
- Мировой рекорд одновременной квантовой запутанности: 51 кубит, с помощью квантового компьютера Zuchongzhi. URL: <https://new-science.ru/marsohod-perseverance-obnaruzhil-v-kratere-ezero-neskolko-organicheskikh-molekul/>
- Превосходство: 5 самых мощных квантовых компьютеров и зачем они нужны. URL: <https://digitalocean.ru/n/how-quantum-works>
- В России запущен 12-кубитный квантовый компьютер. URL: [https://www.cnews.ru/news/top/2024-01-19\\_uchenye\\_zapustili\\_pervyj](https://www.cnews.ru/news/top/2024-01-19_uchenye_zapustili_pervyj)
- Quantum startup Atom Computing first to exceed 1,000 qubits. URL: <https://atom-computing.com/quantum-startup-atom-computing-first-to-exceed-1000-qubits/>
- Quantum Computing. URL: <https://atom-computing.com/>
- Собирая информацию по кубитам. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/kvantovyj-kompyuter>
- Ionq. URL: <https://ionq.com/>
- «Планы кажутся все менее безумными». URL: <https://nplus1.ru/material/2024/05/17/trapped-ion-quantum-computer>
- Quantum Computing: Hype Cycle or Transformative Technology? URL: <https://quantumzeitgeist.com/quantum-computing-hype/#quantum-computing-hardware-types>
- Квантовые технологии. Модуль 4. URL: <https://nplus1.ru/material/2020/02/06/course-quantum-technology-chapter4>
- Квантовые вычисления и их математические основы. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/746300/>
- Лучшими кубитами для квантовых вычислений могут быть нейтральные атомы. URL: <https://habr.com/ru/companies/first/articles/813057/>



## ЦЕНТР МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Тел.: 8-499-129-17-22, e-mail: [mail@forecast.ru](mailto:mail@forecast.ru), <http://www.forecast.ru>

### Авторы обзора

Роман Волков, ведущий эксперт ЦМАКП, к.э.н.

Email: [rvolkov@forecast.ru](mailto:rvolkov@forecast.ru)

Владимир Артёменко, эксперт ЦМАКП.

Email: [avg@forecast.ru](mailto:avg@forecast.ru)

### Следите за новыми выпусками мониторингов ЦМАКП

Официальный сайт: [forecast.ru](http://forecast.ru)

Telegram-канал: [ctmasf](https://t.me/ctmasf)