

Аспекты развития 6G-сетей

Часть 2

М. Макушин¹

УДК 621.396 | ВАК 2.2.2

В предыдущем номере были затронуты вопросы инновационных тенденций эры 6G, такие как новая архитектура, необходимые технологии и требующие разрешения проблемы. Во второй части завершается обзор требующих решения проблем, рассматриваются перспективные направления исследований в области 6G-сетей, американо-европейская маршрутная карта развития 6G-сетей и некоторые разработки в этой области.

Цифровые двойники

Цифровые двойникиⁱ (ЦД) – это цифровые копии физического объекта или продукта, которые служат его неотличимым цифровым аналогом для практических целей, таких как моделирование системы, интеграция, тестирование, мониторинг и техническое обслуживание. Благодаря развитию коммуникационных и вычислительных технологий ЦД состоит из трех уровней развертывания: мониторинга, моделирования и эксплуатации.

Уровень мониторинга. ЦД используется для зеркального отображения или виртуального представления физического объекта, который не взаимодействует со своей виртуальной моделью (и наоборот).

Уровень моделирования. ЦД является имитатором физического объекта, понятного, предсказуемого и оптимизируемого моделированием. Виртуальная модель развивается вместе с изменениями, но изменения в ней не влияют на физический объект.

Уровень работы. Взаимодействие физических объектов и их ЦД – двунаправленное. Изменение состояния

любого объекта будет обновляться и отражаться как на двойниках, так и на физических объектах [15].

Технология ЦД уже применяется в ряде областей для мониторинга, управления и оптимизации физических объектов. В плане использования ЦД в развитии 6G-сетей и технологий предложены ряд решений, в том числе:

- решение для совершенствования управления 6G БПЛА-системами с использованием модели ЦД как для уровня краевых вычисленийⁱⁱ, так и для уровня IoT (*оптимизация моделей на основе входных показателей, таких как потребляемая мощность передачи сигнала, параметры загрузки/разгрузки БПЛА, пропускная способность краевых и IoT-узлов, и т.д.*);
- решение для 6G-систем мобильных краевых вычислений (Mobile Edge Computing, MEC) с минимальным временем ожидания (*создание ЦД краевых узлов, передача состояния краевых узлов и всей системы MEC для обучения ЦД с целью принятия решений о разгрузке систем*);
- решение для оптимизированного управления автомобильными системами на основе создания ЦД транспортных средств и дорожной инфраструктуры (автомобильные системы получают эффективные и надежные схемы снижения нагрузки за счет оптимизации моделей ЦД на основе глубокого обучения с подкреплением).

Специалисты считают перспективным оптимизацию моделей ЦД на основе обратного взаимодействия с реальными системами и моделями. ЦД становятся возможным решением для оптимизации систем, повышения производительности и сокращения времени отклика служб для приложений, чувствительных к времени ожидания. То есть ЦД – это эффективный способ моделирования, анализа, прогнозирования и оптимизации физических систем, способный внести свой вклад в развитие 6G-сетей [16].

¹ НОБ «Военные науки и оборонная промышленность» БРЭ, ведущий научный редактор.

ⁱ **digital twin** – «цифровой двойник», система моделирования, используемая заказчиком в своих целях. Обеспечивает присутствие элементов ИИ, возможности МО и необходимое ПО.

ⁱⁱ **edge computing** – краевые вычисления, метод оптимизации облачных вычислительных систем путем дополнения обработки данных на границе сети вблизи источника данных. Данный подход позволяет снизить интенсивность информационного обмена между датчиками и центром обработки данных, выполняя обработку сгенерированных данных в источнике или вблизи него. Требуется использования ресурсов, не подключенных к сети постоянно (ноутбуки, смартфоны, планшетные ПК, датчики и т. п.).

Также к числу технологий, оказывающих существенное воздействие на развитие 6G-сетей, можно отнести сверточные нейронные сети и графовые нейронные сети, симбиотические радиосети (SRN), дальнейшее совершенствование используемой в 5G-сетях технологии massive MIMO и технологии метавселенной.

Проблемы и перспективные направления исследований

Исследования в области 6G-сетей находятся на начальном этапе, поэтому до их развертывания необходимо решить ряд задач (рис. 2). Наиболее существенными являются: гетерогенные сети, терагерцевый диапазон, ИИ, краевые вычисления, безопасность и конфиденциальность.

Гетерогенные сети. Концепция 6G будет заключаться в интеграции наземных, воздушных и подводных сетей. Это требует разработки более инновационных и гибких протоколов маршрутизации, адаптирующихся в соответствии с условиями окружающей среды (обеспечение бесперебойного подключения и интерактивных возможностей в различных средах передачи данных) [17].

Терагерцевый диапазон. Данный диапазон привлекателен для 6G-сетей благодаря повышению пропускной способности системы за счет большего числа полос спектра. Но здесь возникают две проблемы: высокие потери на поглощение окружающей средой и помехи между компонентами устройства. Поэтому его использование возможно на небольших дальностях связи при низкой мощности. Решение – разработка схем меньшего размера и устройств с меньшей рабочей мощностью [4].

Эндогенный ИИ. Интеграция эндогенного ИИ в 6G-сети приведет к существенному повышению как вычислительной мощности, так и возможности обрабатывать большие объемы данных. Важным аспектом развития 6G-сетей станет оптимизация энергопотребления. Наиболее энергозатратными являются такие приложения, как голограммы, тактильная связь, дополненная, виртуальная и смешанная реальности. Одним из наиболее перспективных решений для экономии энергии становится решение на основе больших интеллектуальных поверхностей (Large Intelligent Surface, LIS) [18].

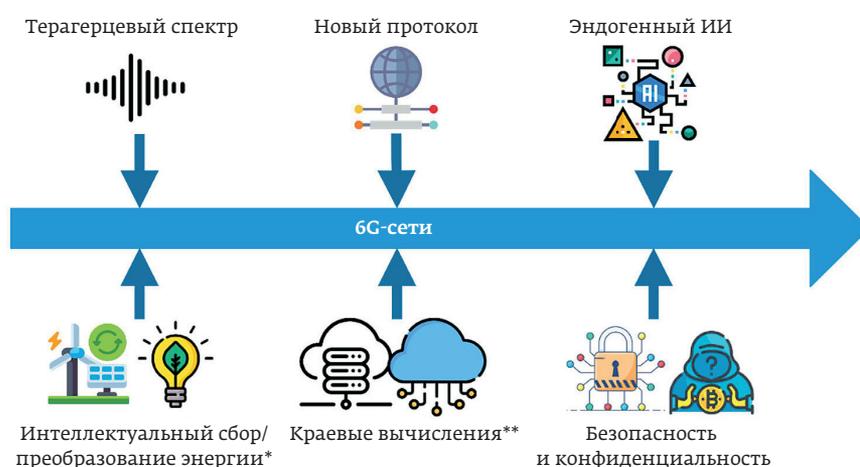
Краевые вычисления. Они позволяют значительно увеличить вычислительную мощность сети, их сочетание с ИИ приводит

к значительному улучшению вычислительных возможностей, эффективности использования системных ресурсов и производительности сети. Но при ограниченных ресурсах и емкости хранения данных управлять сложными алгоритмами на основе ИИ, требующих обработки больших объемов данных на краевых узлах, очень сложно. Требуется продолжение разработки оптимальных алгоритмов ИИ, эффективного планирования и методов разгрузки краевых узлов – для повышения производительности периферийных систем [4].

Безопасность и конфиденциальность. Интеграция разнородных систем, сбор и передача больших объемов данных в 6G-сетях приводит к проблемам безопасности данных и конфиденциальности. Необходимо разработать новые алгоритмы шифрования и методы защиты на физическом уровне, а также продолжить изучение вопросов надежности архитектуры сетей [19].

АМЕРИКАНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ МАРШРУТНАЯ КАРТА СОЗДАНИЯ 6G-ТЕХНОЛОГИЙ

В декабре 2023 года американские и европейские исследователи опубликовали совместную «Маршрутную карту развития 5G- и 6G-технологий» (EU-US Beyond 5G/6G Roadmap, далее – Маршрутная карта). Она охватывает сферу исследований, определения основных направлений работ и выработки рекомендаций в области развития 6G-сетей и услуг. В реализации Маршрутной карты предусмотрено участие академического сообщества,



* Energy harvesting (= power harvesting/energy scavenging) – сбор/преобразование энергии, процесс, при котором энергия, получаемая из внешних источников (солнечная энергия, тепловая энергия, энергия ветра, перепад солености воды, кинетическая энергия), поглощается и хранится для малых беспроводных автономных приборов, наподобие используемых в носимой (вмонтированной в одежду/аксессуары) электронике и беспроводных сенсорных сетей.

** Edge computing – краевые вычисления, метод оптимизации облачных вычислительных систем путем дополнения обработки данных на границе сети вблизи источника данных. Этот подход позволяет снизить интенсивность информационного обмена между датчиками и центром обработки данных, выполняя обработку сгенерированных данных в источнике или вблизи него. Требуется использования ресурсов, не подключенных к сети постоянно (ноутбуки, смартфоны, планшетные ПК, датчики и т. п.).

Рис. 2. Основные проблемы развития 6G-сетей

бизнеса и государственных структур. Период совместных работ – с 2025 года и до выполнения основных задач. С европейской стороны в разработке и реализации маршрутной карты участвует Европейская совместная инициатива по интеллектуальным сетям и услугам (European Smart Networks and Services Joint Undertaking, SNS JU), государственно-частное партнерство, обладающее статусом общеевропейской программы, финансируемой ЕС. США представлены «Альянсом следующего поколения» (Next G Alliance), входящего в североамериканский «Альянс разработки решений для телекоммуникационной промышленности» (Alliance for Telecommunications Industry Solutions, ATIS). В работе Next G Alliance участвуют промышленные фирмы, различные исследовательские организации и университеты. Одним из источников финансирования является Национальный институт стандартов и технологии (NIST) министерства торговли США.

Одна из основных не афишируемых задач сторон при реализации маршрутной карты – добиться стратегического превосходства над КНР, не допустить повторения ситуации значительных успехов Поднебесной в области разработки 5G-технологий, развертывания 5G-сетей и лидерства по числу заявленных/полученных патентов.

В собственно Маршрутной карте план-график совместных работ не отражен. Для иллюстрации этого аспекта подходит маршрутная карта SNS JU (рис. 3).

Основными областями сотрудничества ЕС и США в соответствии с Маршрутной картой являются:

- продвижение жизнеспособных 6G-решений;
- микроэлектроника и 6G-технологии;
- облачные решения и распределенные вычисления;

- открытые решения;
- искусственный интеллект и 6G-технологии;
- надежность и кибербезопасность.

Взаимосвязь перечисленных направлений сотрудничества представлена на рис. 4 [20].

Продвижение жизнеспособных 6G-решений

Американо-европейская Маршрутная карта формировалась с учетом различных национальных и международных исследований, законодательных актов и т. п., включая опубликованное Европейской Комиссией в 2023 году исследование о перспективах цифровизации Европы [21] и определенных ООН (2020) 17 целей устойчивого развития [22]. Отмечается, что комплексная система 6G будет устойчивой и жизнеспособной в той мере, в которой она будет способствовать устойчивости и жизнеспособности других секторов экономики. Это охватывает все три столпа устойчивого развития (экологическое, социальное и экономическое) и особенно касается таких сетевых аспектов, как надежность, конфиденциальность и интеграция в цифровые технологии.

Для повышения энергоэффективности 6G-сетей потребуется оптимизировать все этапы жизненного цикла оборудования, от проектирования и производства до окончания срока службы, разработка сетей радиодоступа (RAN) и их основных архитектур, эффективное использование искусственного интеллекта (ИИ) и облачных сервисов, всех необходимых приборов и устройств, частотных диапазонов и алгоритмов прикладного уровня.

Также важен переход к экономике замкнутого цикла, что требует применения методов проектирования,

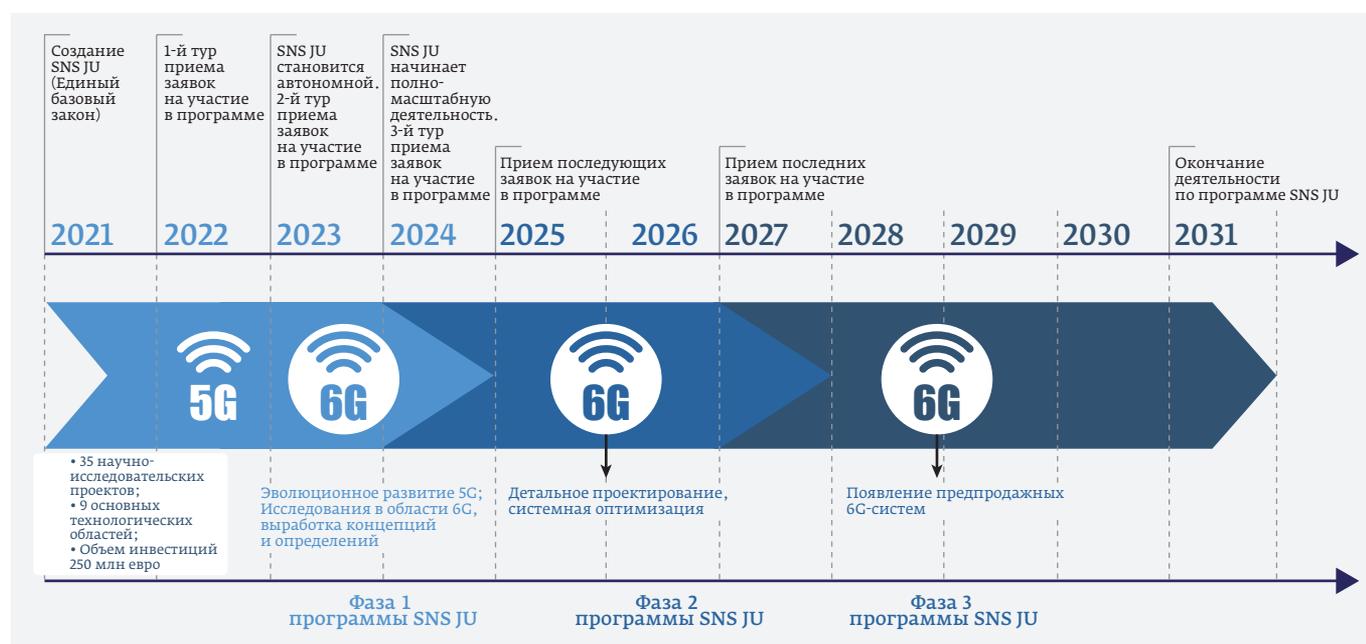
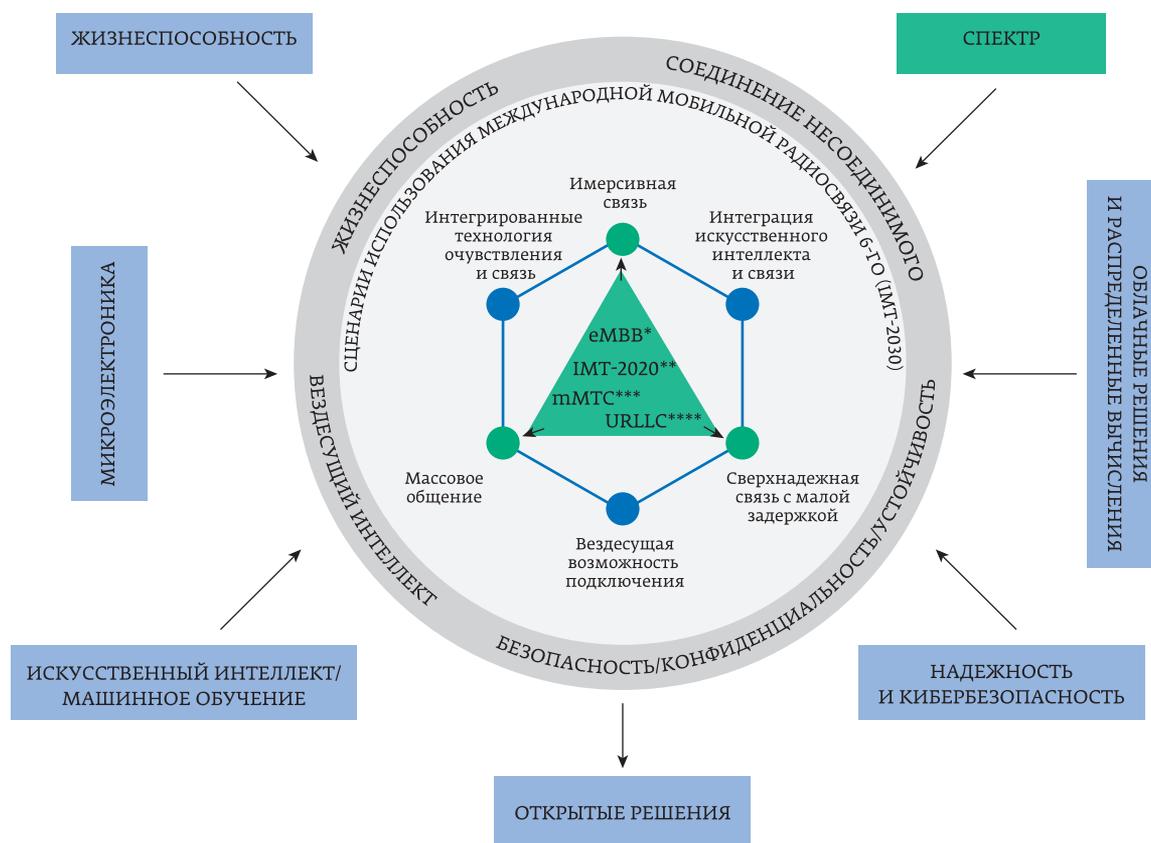


Рис. 3. Маршрутная карта работ программы SNS JU в области 6G-сетей



* eMBB (Enhanced mobile broadband) – мобильная широкополосная связь с расширенными возможностями, расширение услуг, впервые включаемое сетями 4G LTE, обеспечивающее высокую скорость передачи данных в широкой зоне покрытия. eMBB обеспечивает большую емкость, необходимую для поддержки пиковых скоростей передачи данных как для больших скоплений людей, так и для конечных пользователей, находящихся в движении. Начальный этап развертываний автономных 5G-сетей ориентирован на eMBB, обеспечивающую большую полосу пропускания данных, дополненную умеренными улучшениями задержки как для 5G NR, так и для 4G LTE.

** IMT-2020 – Международная мобильная радиосвязь 5-го поколения (стандарт).

*** mMTC (massive machine type communication) – массовая межмашинная связь.

**** Ultra Reliable and Low Latency Communications – ультранадежная связь с малой задержкой.

Рис. 4. Взаимосвязь направлений сотрудничества в рамках американско-европейской Маршрутной карты

способствующих сокращению объемов используемых материалов и случаев ремонта, повторному использованию, рециркуляции и утилизации продуктов, их составных частей, компонентов и материалов.

Кроме того, внедрение 6G-сетей потенциально может повысить качество жизни, включая такие государственные услуги, как здравоохранение, образование, охрана труда и окружающей среды [20].

Для обеспечения устойчивого развития 6G-сетей и продвижения жизнеспособных решений необходимы руководящие принципы и процессы. К ним относится, в частности, рамочная система ключевых показателей эффективности (КПЭ), используемая для управления разработкой, ориентированной на достижение максимальных характеристик. Она также может использоваться при разработке, ориентированной на увеличение добавленной стоимости, с помощью специальных показателей, особенно связанных с устойчивостью и жизнеспособностью.

Тем не менее, оценка «стимулирующего эффекта» 6G-сетей, то есть их положительного влияния на другие сектора деятельности, остается сложной задачей [23].

Микроэлектроника и 6G-технологии

Микроэлектроника и полупроводниковая промышленность (если взять шире) обеспечивают элементную базу развития 6G-сетей и технологий. США и ЕС признали микроэлектронику стратегической отраслью промышленности как с экономической, так и с политической точек зрения. В 2022 году США приняли «Закон о создании полезных стимулов для производства полупроводниковых приборов и развития науки» (Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors and Science Act, CHIPS and Science Act) [24]. В этом же году ЕС принял аналогичный закон (EU Chips Act) [25]. Оба закона направлены на развитие научного и промышленного потенциала путем привлечения частных и государственных инвестиций, а также

обеспечения безопасности цепочек поставок. Эти законы охватывают применение инновационных микроэлектронных решений и в секторе связи – например, США выделили 1,5 млрд долл. на чипсеты для систем беспроводной связи. Технологии 6G значительно расширят возможности и создадут новые требования к промышленной базе для обслуживания глобальных рынков.

Ожидается, что переход к виртуализированным сетям, начавшийся с 5G-сетей, продолжится и активизируется с появлением 6G-сетей. С этой точки зрения требования к микроэлектронике разнообразны и характеризуются необходимостью:

- в программных реализациях для достижения уровней производительности, сравнимых с классическими аппаратными реализациями, особенно для функций радиосвязи в реальном масштабе времени (использование процессоров общего назначения может оказаться недостаточным);
- использования преимуществ открытых цепочек поставок с несколькими источниками, в связи с чем могут быть рассмотрены разработки технологии RISC V (это важно для применения ускорителей, встраиваемых в различные платформы с виртуализированными реализациями);
- оптимизации энергоэффективности на уровне процессора (в то время как внедрение ПО может привести к увеличению энергопотребления).

По мнению составителей Маршрутной карты, сотрудничество ЕС и США в области микроэлектроники, ориентированной на 6G-сети и технологии, должно быть направлено на:

- снижение рисков при разработке ключевых технологических компонентов, необходимых для реализации 6G-концепции и новых приложений;
- повышение уверенности заинтересованных сторон в поддержке ключевых технологий на уровне стандартизации;
- определение зависимости этих технологий от поставщиков;
- создание «кросс-атлантической» (ЕС-США) базы знаний об этих технологиях [20].

Облачные решения и распределенные вычисления

Предполагается, что 6G-облако будет работать как единое целое (базовое, периферийное и удаленное), включающее в себя интеллектуальные и повсеместные вычислительные, коммуникационные и информационные сервисы, охватывающие региональные и городские центры обработки данных, сотовые узлы, локальное оборудование и устройства. Системные 6G-функции и приложения могут поддерживаться в 6G-облаке в качестве рабочих нагрузок, распределенных для обеспечения обработки

больших объемов данных в непосредственной близости от источника, минимизации передачи данных, использования специализированных вычислительных возможностей (повышение производительности и адаптация к динамике сети). Дополнительно могут внедряться вычислительные системы и системы передачи данных с выделенными функциями вычисления и управления данными [20].

Распределенные вычисления потребуют интеграции мобильных устройств для предоставления вычислительных услуг и услуг передачи данных. Обнаружение, сбор и обработка данных локально в устройствах с ограниченными ресурсами сводят к минимуму затраты на передачу данных. Но это зависит от их типа – от устройств Интернета вещей до мощных потребительских устройств, поддерживающих промышленные, корпоративные приложения и приложения расширенной реальностиⁱⁱⁱ (XR). Соответственно требуется интеграция вычислительных и коммуникационных возможностей устройств и сетей для создания единой сети вычислительных и коммуникационных ресурсов (с учетом безопасности и конфиденциальности) [26].

Открытые решения

Открытые сети являются многообещающим решением для поддержки постоянно растущего трафика данных и удовлетворения потребности в уплотнении сети с оптимизацией совокупной стоимости владения^{iv}. При развитии открытых сетей необходимо учитывать такие аспекты, как:

- рост сложности интеграции, что затрудняет конфигурирование, эксплуатацию и обновление сетей (при этом нужная производительность не всегда достигается);
- усиление угроз общей сетевой безопасности (потенциально приводящее к повышенной уязвимости сетей, которую необходимо исследовать и устранять);

ⁱⁱⁱ **XR (Extended reality)** – технология расширенной реальности, позволяющая воплощать любые творческие идеи при создании видеоконтента. В отличие от технологий дополненной реальности (augmented reality, AR), виртуальной реальности (virtual reality, VR) и смешанной реальности (mixed reality, MR), для просмотра контента, созданного в XR, не требуется использование шлемов и очков виртуальной реальности. Достаточно специальных экранов и набора звуковой аппаратуры. XR объединяет цифровой фон и реальные объекты в момент съемки.

^{iv} **TCO (Total Cost of Ownership)** – общая (совокупная) стоимость владения, методика определения наилучшего соотношения цена/качество для оборудования и ПО. Критериями оценки являются стоимость приобретения, установки, администрирования, технической поддержки и сопровождения, модернизации, вынужденных простоев и других затрат.



ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ВАКУУМНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



**Разработка
и производство
технологического
оборудования**



**Поставка зарубежного
оборудования
и комплексных
технологий**



**Разработка
и внедрение
современных
технологий**



**Модернизация и
сервисное обслуживание
технологического
оборудования**

Акционерное общество
«Научно-производственное предприятие
«Электронное специальное технологическое оборудование»

☎ 8 (499) 729-77-51, 8 (499) 479-12-39
📍 г. Зеленоград, Георгиевский пр., д. 5с1
✉ info@nppesto.ru
🌐 nppesto.ru



- использование открытой архитектуры не обязательно означает отказ от использования запатентованных компонентов;
- важность обеспечения баланса между стандартизацией сетей для обеспечения функциональной совместимости, безопасности и масштабируемости (не приводящее к возникновению препятствий для инноваций в области сетевых решений);
- трудность достижения энергоэффективности при интеграции программных и аппаратных продуктов из различных источников.

Открытые сети становятся важной тенденцией, в рамках которой множество заинтересованных сторон прилагают все усилия для достижения желаемых преимуществ и решения возникающих проблем. Несколько известных инициатив в области открытых сетей становятся общепринятыми. Но, хотя некоторые инициативы, такие как Open RAN, уже реализуются, эта область все еще находится в стадии разработки, и для обеспечения широкого внедрения во всех областях необходимы дополнительные исследования и участие различных заинтересованных сторон [20].

Искусственный интеллект и 6G-технологии

Ныне осуществляется переход радиоинтерфейса и других сетевых уровней на ИИ/машинное обучение (МО), начиная с замены определенных функций в сети, устройствах и радиоинтерфейсе. Это должно сопровождаться рядом улучшений функциональности и архитектуры, поддерживающих внедрение методов ИИ/МО [20]. Внедрение ИИ/МО в 6G-технологии порождает ряд проблем.

Во-первых, обучение модели ИИ/МО и формирование логических выводов могут быть сопряжены с большими затратами вычислительных ресурсов и увеличением энергопотребления. Это требует устойчивого и энергоэффективного использования ИИ/МО в 6G-сетях/устройствах (особенно в RAN, на которые приходится большая часть энергопотребления, в частности для устройств с ограниченными ресурсами, включая БПЛА). Растет техническая и вычислительная сложность инфраструктуры управления наборами данных и жизненным циклом моделей ИИ/МО (включая постоянный сбор данных и мониторинг/переподготовку моделей), особенно если модели ИИ/МО динамически оптимизируются под различные местоположения, конфигурации сети, условия дорожного движения и/или условия распространения радиосигнала [27].

Во-вторых, решающее значение для хода исследований в области ИИ/МО и стандартизации 6G-сетей будет иметь создание эталонных наборов данных и моделей. Здесь важны:

- разработка методологий сбора, обработки, сопоставления данных из различных источников и оценки наборов данных;

- показатели и модели оценки технологий ИИ в телекоммуникациях (включая аспекты энергоэффективности, объяснимости, надежности, безопасности, конфиденциальности и производительности);
- технологии и инструменты для адаптации моделей к конкретным сценариям/установкам (основанные, например, на непрерывном обучении);
- генерация синтетических данных и использование ЦД для увеличения объема данных, разработки/оценки моделей и адаптации.

То есть построение и агрегирование моделей требует управления жизненным циклом, включая онлайн/оффлайн-обучение, разработку, аттестацию, обслуживание, мониторинг и т. п.

В-третьих, обеспечение надежности механизмов ИИ/МО 6G-сетей включает в себя обеспечение их устойчивости к кибератакам или утечке данных, с одной стороны, с другой – обеспечение понятности их работы с участием в процессе человека (XAI, eXplainable AI – объяснимый искусственный интеллект).

В-четвертых, необходимо более глубокое понимание последствий политики и регулятивных норм в области ИИ [20]. ИИ, наряду с коммуникационными технологиями, определен как одна из ключевых технологий, обеспечивающих технологический суверенитет ЕС. Использование ИИ в ЕС будет регулироваться законом об ИИ [28] с целью обеспечения безопасности, прозрачности, отслеживаемости, недискриминационности и экологической чистоты систем ИИ. Закон об управлении данными [29] направлен на максимальное использование потенциала данных (как средства обеспечения ИИ) в интересах граждан и бизнеса. В США (с 01.01.2021) Закон о Национальной инициативе в области ИИ (The National AI Initiative Act) предусматривает скоординированную программу работ федерального правительства по ускорению исследований и применения ИИ для обеспечения экономического роста и национальной безопасности [20].

Надежность и кибербезопасность

Меры, реализуемые в сфере надежности и кибербезопасности 6G-сетей, должны обеспечивать:

- организацию бизнес-процессов и цепочки поставок, обеспечивающую доверие к оборудованию, участникам и процессам;
- тщательную разработку 6G-стандартов, соответствующих точно определенным требованиям безопасности;
- обеспечение совместимости 6G-инфраструктуры (включая сетевое оборудование и связанные с ним сервисы) в рамках экосистемы, развертывание и эксплуатация сетей в соответствии с ожиданиями пользователей [30].



РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

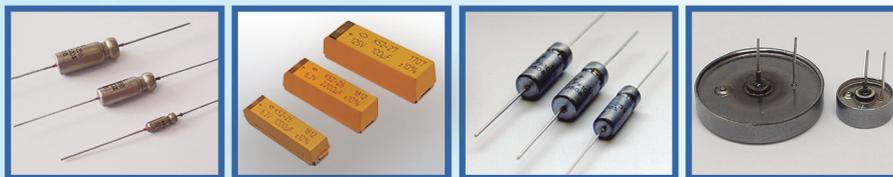
Оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы K50-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, 3,2 ... 485
Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, 1,0 ... 470 000
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С -60 ... 125



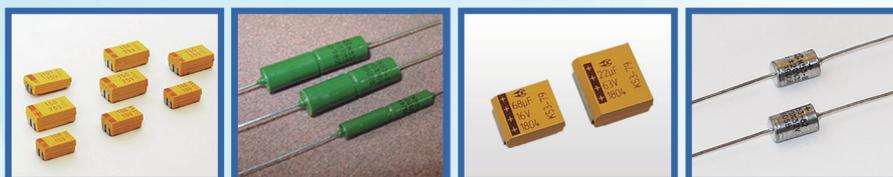
Объемно-пористые танталовые конденсаторы K52-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, 3,2 ... 200
Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, 1,5 ... 60 000
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С -60 ... 175



Оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы K53-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, 2,5 ... 63
Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, 0,033 ... 2 200
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С -60 ... 175



Суперконденсаторы K58-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, 2,5 ... 2,7
Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф, 1,0 ... 4 700
Диапазон температур среды и эксплуатации, $T_{ср}$, °С -60 ... 65



Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, 5,0 ... 48
Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф, 0,08 ... 783
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С -60 ... 65



Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, д. 3
Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48
e-mail: elecond-market@elcudm.ru; www.elecond.ru

Предполагается, что реализация перечисленных мер пойдет по следующим направлениям:

- повышение устойчивости 6G-инфраструктуры и сервисов при их интеграции в рабочие процессы автоматизации в различных сферах общественного и промышленного использования (с учетом надежности компонентов, функций и процессов сети, общей производительности, надежности и отказоустойчивости);
- увеличение надежности путем оценки и определения уровней безопасности, предоставляемых для 6G-услуг;
- разработка общих структур и стандартов для оценки и обеспечения безопасности 6G-сетей, стандартизация механизмов интеграции уровней обеспечения безопасности в процесс разработки (поставщиками услуг беспроводной связи, а также всеми заинтересованными сторонами, участвующими в поставке, развертывании и эксплуатации 6G-инфраструктуры), расширение возможностей тестирования решений регулирующими органами или аттестованной третьей стороной [20].

Некоторые рекомендации по реализации Маршрутной карты

Американские и европейские специалисты, участвовавшие в разработке совместной Маршрутной карты, разработали ряд рекомендаций по ее реализации (табл. 4).

НЕКОТОРЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ 6G-СЕТЕЙ

Хотя появление стандарта 6G-технологии ожидается в 2025 году, ряд фирм уже представляют опытные разработки в этой области. В табл. 5 представлены некоторые из этих разработок (анонсированных в первом полугодии 2024), сама таблица составлена на основе фирменных материалов упомянутых в ней компаний.

Итак, представления об инновационных тенденциях развития 6G-сетей в области архитектуры, технологий и требующих решения проблем сформулированы, что дает возможность принятия общего стандарта в 2025 году. Опыт и экономический эффект развертывания 5G-сетей повышают ожидания и заинтересованность в области 6G-сетей. Сложность и дороговизна разработки и развертывания 6G-сетей, а также потребность в ускорении этих работ в условиях жесткой конкуренции ведут к формированию многосторонних альянсов. При этом совместные работы ведутся не только признанными лидерами, такими как ЕС и США, но и другими странами – например Вьетнамом и Канадой.

Стоит также отметить, что при разработке 5G-технологий в числе безусловных лидеров оказалась КНР. Западные страны опасаются повторения ситуации, поэтому стараются активнее проводить совместные работы с целью концентрации сил и средств. При этом если в области разработки 6G-датчиков по числу поданных патентных заявок доминируют Япония, Южная Корея, а затем Германия, то КНР отдает предпочтение патентованию систем (где и лидирует), а не компонентов. Если рассматривать успехи отдельных фирм, то ситуация следующая:

- по числу патентов в сфере 5G безусловно лидировала южнокорейская корпорация Samsung (у нее в 10 раз больше патентов, чем у 10 следующих за ней фирм вместе взятых);
- в области 6G на февраль 2024 года было зарегистрировано около 100 патентов, при этом лидирует китайская корпорация Huawei [31], несмотря на все западные санкции.

Что касается темпов развертывания 6G-сетей, то по данным исследования фирмы Juniper Research (февраль 2024) число соединений в этих сетях к 2030 году по всему миру достигнет 290 млн – после начала их развертывания, ожидаемого в 2029 году [32].

Таблица 4. Некоторые рекомендации по реализации Маршрутной карты в разбивке по основным областями сотрудничества ЕС и США

Область сотрудничества	Рекомендации
Продвижение жизнеспособных 6G-решений	<p>Работы по разработке и развертыванию 6G-сетей должны:</p> <ul style="list-style-type: none"> • учитывать цели экологической, социальной и экономической устойчивости; • придерживаться концепции экономики замкнутого цикла, рассматривая весь жизненный цикл технологии; • продвигать при их проектировании энергоэффективные технологии; • при выработке устойчивых и жизнеспособных решений использовать и совершенствовать методологии КПЭ



Акционерное общество ЭРКОН

Научно-производственное объединение

ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА
И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ
РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ
И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ

Изделия по вашему ТЗ

- Современная производственная база
- Высокое качество
- Индивидуальный подход к потребителю

НОВИНКИ

Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (от 50 Вт – 2000 Вт)
Аттенуаторы ПР1-25 (от 50 Вт – 2000 Вт)
ТПИ – тепловые чип-перемычки
СВЧ-резисторы Р1-160 (до 40 ГГц)
Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)
Силовые резисторы Р1-150М (до 1500 В)



603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.
тел.: 8 (831) 202 - 25 - 52, доб. 2-61 (группа развития)
8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)

E-mail: gr@erkon-nn.ru
www.erkon-nn.ru

Таблица 4. Продолжение

Область сотрудничества	Рекомендации
Микроэлектроника и 6G-технологии	<ul style="list-style-type: none"> • Развитие исследований в области микроэлектроники для беспроводной связи, особенно в диапазоне от среднего гигагерцевого (7–24 ГГц) до субтерагерцевого. • Координация в сфере корпусирования и тестирования антенн (например, антенна-на-кристалле и антенна-в-модуле). • Сотрудничество в области НИОКР по метаматериалам для интеллектуальных отражающих поверхностей. • Виртуализация, включая ускорители для конкретных приложений, а также проведение совместных экспериментов по обеспечению совместимости виртуальных платформ
Облачные решения и распределенные вычисления	<ul style="list-style-type: none"> • Поддержка различных бизнес-моделей (соответствующих нормативным требованиям) и создание разукрупненных 6G облачных архитектур со стандартизированными интерфейсами. • Разработка методологий и платформ для обеспечения сквозного гарантированного качества обслуживания на разнородных платформах
Открытые решения	<ul style="list-style-type: none"> • Содействие вовлечению академических кругов и деловых кругов ЕС/США по всей цепочке проектирования/разработки для создания инновационных решений/услуг в области открытых решений. • Создание публичного рынка исследовательских и инновационных центров для определения решений, доступных заинтересованным сторонам из ЕС и США для проведения экспериментов и получения новых знаний. • Формирование инфраструктуры сотрудничества для расширения базы знаний экспертов по внедрению, эксплуатации и управлению открытыми сетевыми инфраструктурами
Искусственный интеллект и 6G-технологии	<ul style="list-style-type: none"> • Создание радиоинтерфейса на базе ИИ для совместной работы с сетевыми устройствами. Применение, при необходимости, гибридных подходов, управляемых данными, наряду с семантическими/целенаправленными коммуникационными протоколами и архитектурами. • Увеличение инвестиций ЕС и США в более эффективные модели ИИ/МО, играющих решающую роль в автоматизации сетевой инфраструктуры (включая концептуальный дизайн моделей, управление их жизненным циклом, увеличение времени автономной работы устройств и обеспечение динамического распределения рабочей нагрузки в 6G сетях). • Расширение сотрудничества ЕС и США в области беспроводных наборов данных и моделей 6G ИИ/МО с целью ускорения разработки и занятия лидирующих позиций в мире. • Поддержка стандартизации 6G ИИ в международных органах стандартизации, таких как ETSI*/3GPP**
Надежность и кибербезопасность	<ul style="list-style-type: none"> • Формирование механизмов, обеспечивающих устойчивость на протяжении всего жизненного цикла с цепочки поставок до восстановления после кибератак; разработка новых требований к безопасности 6G-оборудования и ПО. • Разработка подходов к обеспечению безопасности, ориентированных в идеале на принципы нулевого доверия, широкое использование конфиденциальных вычислений и строгая аттестация, позволяющие повышать операционную безопасность в масштабе реального времени. • Расширение применения ИИ для повышения безопасности сетей 6G (например для разработки новых систем обнаружения кибератак и автоматизации задач безопасности).

* ETSI (European Telecommunications Standards Institute) — Европейский институт телекоммуникационных стандартов.

** 3GPP (3rd Generation Partnership Project) – консорциум, разрабатывающий спецификации для мобильной телефонии.

Создан в 1998 году. Основное направление работ – разработка технических спецификаций и технических отчетов в области сетевых технологий и радиодоступа в мобильных системах. Разработал стандарты GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSPA и LTE-Advanced, 5G, разрабатывает стандарты 6G.

interlight

RUSSIA

intelligent building

RUSSIA

interlight-building.ru

29 лет
в России

Международная выставка освещения,
автоматизации зданий, электротехники
и систем безопасности

17–20.09.2024

ЦВК «Экспоцентр», Москва

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ

Техническое освещение		BUILDING	
Декоративное освещение			
Архитектурное освещение			
Лампы			
Компоненты			Электротехника
Праздничное освещение			Автоматизация зданий
	LIGHT		Интегрированные системы безопасности
			Умный дом
			Умный город

ВЫСТАВКА 2023

20 000 м²
выставочная
площадь

498
экспонентов

23 617
посетителей

41%
посетили выставку
впервые



Используйте промокод **IL24-U1KSB**
для регистрации и получите бесплатный билет!

+7 495 649 87 75 ▪ interlight@gefera.ru ▪ interlight-building.ru

 GEFERA MEDIA

Таблица 5. Некоторые разработки в области 6G-технологий

Фирма	Разработка и назначение
DOCOMO	Оборудование беспроводной передачи данных со скоростью 100 Гбит/с на расстояние 100 м
Keysight Technologies и NVIDIA	Платформа NVIDIA 6G Research Cloud, открытая, гибкая и взаимосвязанная структура ресурсов сетевой эмуляции, предлагающая исследователям комплексный набор инструментов для разработки новых адаптаций ИИ для RAN
NEC	Мультиэлементная активная фазированная антенная решетка из более чем 100 антенных элементов
NTT	Многоканальные беспроводные приборы со скоростью передачи данных 100 Гбит/с на расстояние 100 м в 300-ГГц диапазоне
Semtech Corporation	ИС семейства Tri-Edge CDR, модули «плотного» мультиплексирования по длине волны (DWDM) со скоростью передачи данных 50 Гбит/с для 5G- и 6G-сетей
Viavi Solutions	Цифровые двойники 6G городских сетей, облегчающие их проектирование и развертывание

ЛИТЕРАТУРА

4. **Quy V.K., Chehri A., Quy N.M., Han N.D., Ban N.T.** Innovative Trends in the 6G Era: A Comprehensive Survey of Architecture, Applications, Technologies, and Challenges // *IEEE Access*. V. 11. 26 April 2023, pp. 39824–39844.
15. **T. Q. Duong, D. Van Huynh, Y. Li, E. Garcia-Palacios, K. Sun.** Digital twin-enabled 6G aerial edge computing with ultra-reliable and low-latency communications: (Invited paper) // *Proc. 1st Int. Conf. 6G Netw. (6GNet)*, Jul. 2022, pp. 1–5. doi: 10.1109/6GNet54646.2022.9830363.
16. **Y. Dai, Y. Zhang.** Adaptive digital twin for vehicular edge computing and networks // *J. Commun. Inf. Netw.*, vol. 7, no. 1, pp. 48–59, Mar. 2022. doi: 10.23919/JCIN.2022.9745481.
17. **G. Wikström, J. Peisa, P. Rugeland, N. Johansson, S. Parkvall, M. Girnyk, G. Mildh, I. L. Da Silva.** Challenges and technologies for 6G // *Proc. 2nd 6G Wireless Summit (6G SUMMIT)*, Mar. 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/6GSUMMIT49458.2020.9083880.
18. **J. Yuan, H. Q. Ngo, M. Matthaiou.** Towards large intelligent surface (LIS)-based communications // *IEEE Trans. Commun.*, vol. 68, no. 10, pp. 6568–6582, Oct. 2020. doi: 10.1109/TCOMM.2020.3009115.
19. **L. Fanari, A. Arriola.** A survey of physical layer techniques for secure wireless communications in industry // *IEEE Commun. Surveys Tuts.* 2022. V. 24. No. 2. PP. 810–838. doi:10.1109/COMST.2022.3148857.
20. EU-US Beyond 5G/6G Roadmap // *5G-ppp.eu*. December 2023
21. European Commission (2023). 6G Outlook - Shaping Europe's digital future.
22. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Sustainable Development. (2020). The 17 Goals.
23. 6G-IA. (2022). What societal values will 6G address? Societal Key Values and Key Value Indicators analyzed through 6G use cases.
24. **Авдонин Б., Макушин М.** CHIPS Act и некоторые аспекты совершенствования экосистемы НИОКР в США // *ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес*. 2023. №2 (00223). С. 044–053.
25. **Брыкин А., Макушин М.** Микроэлектроника и государственная политика высокотехнологичных стран: «национализация» взамен глобализации // *ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес*. 2021. №9 (00210). С. 148–156.
26. European Commission. (2023). *Cloud computing*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/cloud-computing>.
27. NGA. (2023). AI-Native Wireless Networks. https://www.nextgalliance.org/white_papers/ai-native-wireless-networks/
28. European Parliament. (2023). EU AI Act: First Regulation on Artificial Intelligence. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20230601STO93804/eu-ai-act-first-regulation-on-artificial-intelligence>.
29. European Commission. (2023). European Data Governance Act. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-governance-act>.
30. Next G Alliance. (2022). Trust, Security, and Resilience for 6G Systems. https://www.nextgalliance.org/white_papers/trust-security-and-resilience-for-6g-systems/
31. IDTechEx Investigates Who is Winning in 6G // *Microwave Journal*, October 21, 2021.
32. Global 6G Connections to Reach 290M in First Two Years of Service // *Microwave Journal*, February 6, 2024.

21-я Международная выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования



Забронируйте стенд
testing-control.ru



Организатор



Международная
Выставочная
Компания

+7 (495) 252 11 07
control@mvk.ru