

# Связь: динамика и проблемы развертывания 5G-сетей, работы в области 6G

## Часть 2

М. Макушин<sup>1</sup>

УДК 621.396 | ВАК 2.2.2

В первой части статьи были проанализированы динамика и проблемы развертывания 5G-сетей, включая развертывание 5G-инфраструктуры и рост числа абонентов, опережение по объему продаж 5G-смартфонов по сравнению с 4G-смартфонами. Кроме того, был затронут аспект соотношения 5G-технологий и технологий гиперразмерных вычислений, как с точки зрения новых приложений и вариантов использования, так и с точки зрения возникновения новых проблем. Наконец, были отмечены особенности текущего момента развития 5G-связи.

Во второй части статьи рассматриваются перспективные работы в области технологии 6G-связи, включая формирование маршрутных карт развития 6G-технологий и развитие терагерцовой связи. Также отмечаются лидерство КНР по числу патентных заявок на технологии 6G-связи и возможности использования графена как перспективного материала для 6G полупроводниковых приборов, включая ИС.

### РАБОТЫ В ОБЛАСТИ 6G

Многие специалисты считают, что 6G-технология будет характеризоваться скоростью передачи данных до 1 Тбит/с, поддержкой возможности взаимодействия облачных технологий и мозга человека (при условии наличия и использования соответствующих имплантатов в мозг ко времени внедрения данной технологии). Ожидается, что 6G-сети предоставят более разнообразные возможности, чем сети предшествующих поколений. Скорее всего, они будут поддерживать приложения, возможности которых выходят за рамки современных мобильных приложений, таких как виртуальная и дополненная реальности, искусственный интеллект (ИИ) и Интернет вещей. Также предполагается, что операторы 6G мобильных сетей перейдут на гибкие децентрализованные модели, предусматривающие местное лицензирование спектра, совместное использование спектра и инфраструктуры. Все это будет осуществляться с помощью интеллектуального автоматизированного управления, основанного на мобильных краевых вычислениях, коммутации коротких пакетов данных

и технологиях блокчейн. Для удобства рассмотрения вопроса выделим несколько моментов: отличия 6G-технологий от предшествующих поколений связи, формирование маршрутных карт развития и аспекты терагерцовой связи, возможные приложения 6G-технологий, ситуацию с подачей патентных заявок на 6G-разработки и поиск материалов, наиболее полно соответствующих задачам реализации полного потенциала 6G-технологий.

### Некоторые особенности 6G-технологий

Новые стандарты беспроводной связи разрабатываются примерно каждые десять лет, и ожидается, что развертывание 6G-сетей начнется примерно в 2030 году. В настоящее время сложно оценивать перспективы 6G, даже само его наименование, возможно, впоследствии будет заменено на что-то другое. Имея это в виду, можно обсуждать только некоторые теоретические аспекты 6G и то, что может предложить эта технология, когда в конечном итоге будет развернута. Ряд исследований рассматривает 6G как полностью интегрированную интернет-систему, которая обеспечивает мгновенную связь между пользователями, устройствами, транспортными средствами и окружающей средой. То есть речь идет и о выходе за рамки Интернета вещей, переходу к «Всеохватывающему Интернету»<sup>\*</sup>.

\* IoE (Internet of Everything) – «Всеохватывающий Интернет», дальнейшее развитие Интернета вещей (IoT, Internet of Things), в рамках которого осуществляются контакты между людьми, людьми и вещами (в том числе машинами и сетями датчиков), между вещами (в том числе межмашинный обмен данными, обмен данными между сетями данных, сетями данных и машинами), а также поддерживающее это процессы. Понятие, относящееся

<sup>1</sup> «Военные науки и оборонная промышленность» БРЭ, редакция, научный редактор.

Таблица 3. Сопоставление основных параметров 4G-, 5G- и 6G-стандартов связи

Параметры	Поколение связи		
	4G	5G	6G
Пропускная способность	Приблизительно 33 Мбит/с	От 40 Мбит/с до 1,1 Гбит/с	До 1 Тб/с
Основная функциональность	Потоковое HD-видео, игры, видеоконференцсвязь, телефония	Интернет вещей, носимые устройства, интеллектуальное производство, периферийные вычисления, искусственный интеллект, интеллектуальное сельское хозяйство	Вспомогательные технологии, иммерсивная* дополненная реальность/ виртуальная реальность, продвинутый искусственный интеллект, автономные транспортные средства, децентрализованный бизнес

\* Immersive – многонаправленный, с одновременным воздействием на человека через несколько каналов восприятия (зрение, слух, осязание, обоняние); иммерсивный, создающий эффект присутствия.

В настоящее время телекоммуникационные компании по-прежнему продвигают технологии 4G. Стандарт 4G/LTE, представленный в 2009 году, позволил увеличить скорость передачи данных и позволил пользователям транслировать HD-фильмы, играть в игры и передавать большие объемы данных со скоростью примерно 33 Мбит/с (табл. 3) [12].

Как уже говорилось, некоторые эксперты считают, что 6G обеспечит скорость передачи данных до 1 Тбит/с, что в тысячу раз превышает скорость передачи пакетов данных по современным оптоволоконным линиям. Федеральная комиссия по связи (США) открыла перспективу 6G-быстродействия в 2019 году, позволив разработчикам экспериментировать с терагерцовыми волнами (также известными как субмиллиметровые волны), которые попадают в спектр от 95 ГГц до 3 ТГц. Для сравнения, 5G использует средние или высокочастотные миллиметровые волны (mmWave) и СВЧ-технологии для достижения диапазона частот от 24 до 40 ГГц. Хотя терагерцовые волны могут повысить скорость 6G до диапазона 1 Тбит/с, он будет иметь те же ограничения, что и 5G, в том смысле, что 6G имеет ограниченный диапазон и требует «прямой видимости» между передатчиком и конечным пользователем.

Ряд исследовательских организаций и фирм уже приступил к созданию электронной компонентной базы для технологий 6G-связи. Так, инженеры Калифорнийского университета (Санта-Барбара) в 2021 году разработали устройство, которое может помочь ускорить процесс разработки 6G с использованием транзисторов с высокой подвижностью электронов (НЕМТ) на основе нитрида галлия (GaN) с N-полярностью. Эти НЕМТ включают соединение между двумя материалами с разной шириной запрещенной зоны, которое функционирует как канал,

к ситуации, когда в любое время любой человек и любая вещь могут быть соединены в Интернет-подобной среде).

а не легированная область, обычная для полевых МОП-транзисторов. В результате НЕМТ позволяет устройству работать на гораздо более высоких частотах (от 140 до 230 ТГц), как того требует 6G.

В конце 2020 года исследователи из Наньянского технологического университета Сингапура и Осакского университета Японии разработали ИС для терагерцовых волн, которую можно использовать для 6G. В начале 2021 года инженеры фирмы Millimeter Wave Products создали усилители для G-диапазона, работающие в терагерцовой области спектра.

Это только несколько примеров разработок, способных помочь создателям 6G-технологий реализовать свои идеи и выйти за рамки стадии исследований. Правда, учитывая медленное продвижение развертывания 5G, может пройти десятилетие или больше, прежде чем 6G станет реальностью [12].

### Маршрутная карта развития 6G-технологий: проблемы и возможности, развитие терагерцовой связи

6G-сети/средства связи находятся в самом начале цикла зрелости технологий\*. Эта область привлекает значительные инвестиции. По данным исследовательской фирмы IDTechEx Research (Кембридж, Великобритания), на НИОКР в области 6G-технологий по всему миру уже выделено более миллиарда долларов. На данный момент несомненными лидерами являются КНР, Республика Корея и Финляндия, активно исследующие терагерцовую электронику. Например, КНР уже приступила к испытаниям

\* Hype cycle (Gartner Hype cycle) – цикл зрелости технологий, графическое отображение распространения, адаптации и социального влияния на специалистов и общество специфических технологий. Термин был введен в оборот аналитической компанией Gartner (Стэмфорд, шт. Коннектикут, США).

некоторых 6G-компонентов в космосе. Исследования Финляндии и ее партнеров пользуются поддержкой ЕС – общая сумма выделенных грантов составила 350 млн долл. Программы НИОКР в области 6G-технологий активно проводятся и в других странах, в том числе в Индии. Правда, окончательного решения по многим вопросам, связанным с технологией 6G еще нет – не определена даже частота. Тем не менее, в области 6G ставятся амбициозные задачи и цели.

Отраслевые специалисты отмечают, что идеи и инновации достигают уровня зрелости обычно за 10-15 лет. Поэтому работы в области 6G необходимо начинать уже сейчас, когда технология 5G еще полностью не развернута. Разработки в области 6G необходимо проводить с учетом опыта развертывания 5G-сетей/средств связи, уделяя большое внимание проблемам терагерцовой связи и перспективному материалу.

Для обеспечения достижения технологией 6G существенных преимуществ по сравнению с технологией 5G, безусловно, очень важно развитие терагерцовой связи. Решение проблем терагерцовой связи в настоящее время сосредоточено на таких работах, как создание беспроводных приемопередатчиков 100-ГГц класса и демонстрация передач на частоте 140 ГГц с пропускной способностью 100 Гбит/с с использованием простой цифро-аналоговой радиочастотной архитектуры. Эти работы являются составной частью продвижения к формированию единой маршрутной карты развития 6G-технологий. Недавно CEA-Leti<sup>\*</sup> объявила, что возглавила панъевропейский консорциум по разработке и тестированию технологии, обеспечивающей динамически программируемое распространение радиоволн 6G-сигналов по требованию. Данное распространение должно осуществляться через поверхности повседневного использования, такие как стены, потолки, зеркала и бытовые приборы.

Все подобные проекты будут иметь важное значение для развития базы знаний, осуществления испытаний и создания опытных образцов, что поможет сформулировать Маршрутную карту развития 6G-технологий. В феврале 2021 года фирма IDTechEx Research опубликовала исследование «Рынок 6G-средств связи, [полупроводниковых] приборов и материалов на период 2021–2041 гг.», в котором попыталась спрогнозировать некоторые моменты возможной маршрутной карты развития 6G-технологий, а также рассмотреть некоторые проблемы, заблуждения и возможности, связанные с 6G-технологиями (рис. 3).

\* CEA-Leti (Electronics and Information Technology Laboratory of the French Alternative Energies and Atomic Energy Commission) – европейский центр исследований в области микроэлектроники, курируемый французским ведомством по альтернативным источникам энергии и атомной энергии.

Одним из ключевых параметров 6G-технологий будет скачкообразный переход в полосу терагерцовых частот, то есть в нераспределенный частотный диапазон от 275 ГГц до 10 ТГц. Этот диапазон также известен как дальняя ИК-область спектра. Специалисты IDTechEx оценивают этот диапазон как территорию «физики ковбойского дикого запада», для которой пока существует слишком мало компонентов, а генерируемые ими сигналы очень слабы. У этой области есть и другое название – «Терагерцовый разрыв» (Terahertz Gap).

По этой причине первоначальные эксперименты часто проводятся в более «легкой» полосе частот – 100–300 ГГц. Недавно Федеральная комиссия США по связи (FCC) предложила официально закрепить «игровую площадку экспериментаторов» в некоторых полосах частот между 116 и 246 ГГц. Развертывание 6G-технологий может начаться на относительно легкой частоте, например 275 ГГц. Затем будет осуществлен переход на более высокую частоту (около 1 ТГц), где возможна полная реализация потенциала 6G-технологий. То есть ожидается повторение ситуации с развертыванием 5G-сетей/средств связи, когда все начиналось в суб-6-ГГц диапазоне с опорой на инфраструктуру 4G LTE, а затем начался переход на миллиметровые (mmWave) волны (десятки гигагерц).

Верхняя, конечная терагерцовая частота 6G-технологий вряд ли будет выше уровня 1 ТГц. Это обусловлено тем, что сразу после этого уровня затухание радиоволн в атмосфере подскакивает до значительных уровней, а необходимые компоненты становятся слишком сложными. Фактически терагерцовые частоты будут использоваться на локальном уровне между спутниками, в остальном же связь будет поддерживаться посредством оптических систем в открытом пространстве (Free Space Optical, FSO), поскольку прокладка волоконно-оптических линий связи окажется слишком дорогой или непрактичной. Также могут использоваться некоторые междугородние линии связи в гигагерцовом С-диапазоне (4–8 ГГц).

Для решения различных задач потребуется использовать большое число возможностей в широком диапазоне областей, начиная от модемов и ИС входных каскадов и возможностей оконечных сетевых устройств до средств управления терагерцовым радиолучом [13].

Возвращаясь к CEA-Leti, можно отметить, что и эта организация в начале 2020 года опубликовала «Технологическую маршрутную карту развития подключаемости в D-диапазоне за пределами возможностей 5G» (Technology Roadmap for Beyond 5G Wireless Connectivity in D-band). В ней описываются базовые сценарии (системная модель, сценарий внешней транзитной передачи, смешанные внутренние сети, пример прямой связи между устройствами) и кремниевые технологии обеспечения подключаемости (обзор и маршрутные карты, позиции кремниевой и A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> технологий, случай усилителей мощности) [14, 15].



Департамент радиоэлектронной промышленности  
Министерства промышленности и торговли РФ

# АО «ГРУППА КРЕМНИЙ ЭЛ»

## МОП-транзисторы 30 В

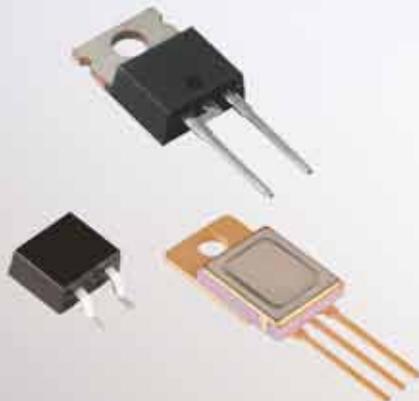
P- и n-канальные MOSFET транзисторы в малогабаритном металлополимерном корпусе типа SOT-23-3 (аналоги: IRLML2803, IRLML5103). Предназначены для применения в зарядных устройствах аккумуляторных батарей, коммутаторах нагрузки, электроприводах, телекоммуникационном оборудовании и др.

Параметр	Обозначение параметра	Значение	
		IRLML 2803	IRLML 5103
Тип канала	-	N-канальный	P-канальный
Напряжение пробоя сток-исток	$U_{C_{stok}}$	> 30В	> 30В
Сопротивление сток-исток в открытом состоянии	$R_{C_{сток}}$	≤ 0,25 Ом	≤ 0,6 Ом
Пороговое напряжение	$U_{Z_{порог}}$	0,7 - 2,0 В	-3,5...-1,0 В
Максимально допустимый ток стока	$I_{C_{сток}}$	1,2 А	0,76 А
Максимально допустимый импульсный ток стока	$I_{C_{сток,имп}}$	7,3 А	4,8 А



## Диоды Шоттки на основе карбида кремния

для применения в высоковольтной аппаратуре специального назначения.  
В металлокерамическом и металлополимерном корпусном исполнении.



Наименование	Обратное напряжение $U_{обр}$ , В	Прямое падение напряжения $U_{пр}$ , В	Постоянный прямой ток $I_{пр}$ , А	Заряд обратного восстановления $Q_{обр}$ , нКл	Обозначение корпуса	Функциональный аналог	
5ДШ408А	> 1200	≤ 1,8	≤ 2	≤ 10	КТ-28А-2.02	C4D02120А	
5ДШ408А1					КТ-28-1		
5ДШ409А			≤ 5	≤ 50	КТ-28А-2.02	C4D05120А	
5ДШ409А1							КТ-28-1
5ДШ409А9			≤ 10	≤ 50 (при $I_{пр} = 5 А$ )	КТ-28А-2.02	C4D02120Е	
5ДШ410А							КТ-28-1
5ДШ410А1							

## Корпуса QFN(DFN)

АО «ГРУППА КРЕМНИЙ ЭЛ» предлагает услуги по сборке в следующие малогабаритные металлополимерные корпуса (толщиной 1 мм) для поверхностного монтажа типа QFN(DFN).



### DFN-8

Шаг выводов: 1 мм  
Габаритный размер корпуса: 5×5 мм  
Размер кристаллодержателя: 4×3,2 мм



### DFN-10

Шаг выводов: 0,8 мм  
Габаритный размер корпуса: 5×5 мм  
Размер кристаллодержателя: 4×3,2 мм

В рамках выполнения работ, запланированных комплексным проектом, к расширению номенклатуры дополнительно разрабатывается и осваивается серия следующих малогабаритных металлополимерных корпусов для поверхностного монтажа типа QFN(DFN).

Наименование	Габаритный размер корпуса, мм	Толщина корпуса, мм	Размер кристаллодержателя, мм	Шаг выводов, мм
DFN-6	3 × 3	1	2,5 × 1,7	0,95
DFN-8	4 × 4		3,0 × 2,6	0,80
DFN-10				
QFN-16				
QFN-20	5 × 5		3,0 × 3,0	0,65

Техническая консультация:  
Чайкин А.А. [alchai@outlook.com](mailto:alchai@outlook.com)  
Алексин С.С. [salekhin@outlook.com](mailto:salekhin@outlook.com)  
Брюхоно Н.А. [niko@sitsemi.ru](mailto:niko@sitsemi.ru)  
тел. (4832) 41-90-11

Заказ продукции:  
<http://group-kremny.ru>  
[mark@kremny.032.ru](mailto:mark@kremny.032.ru)  
тел. (4832) 41-85-91

241037, Россия, г. Брянск,  
ул. Красноармейская, 103  
тел. (4832) 41-43-11  
факс (4832) 41-42-14

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	
Низкоорбитальные спутники Starlink дают почти полное глобальное покрытие, их развертывание продолжается. Тестирование 140-ГГц практических систем и схем для наземных средств связи			Предложение 6G-стандартов для диапазона менее 1 ТГц			Согласование (стандартов)	Ограниченное развертывание в США, Европе, Восточной Азии сетей диапазона менее 1 ТГц. Разработка с использованием графена внутрикристалльных оптических средств передачи данных, спин-логических приборов и 6G-сетей.			Широкое распространение средств связи диапазона менее 1 ТГц			Широкое распространение средств связи диапазона около 1 ТГц. Широкое воздействие на датчики, Интернет вещей, средства позиционирования, медицинскую, военную, персональную электронику. Многие оконечные сетевые приборы оснащены не аккумуляторными батареями, а суперконденсаторами			Батарейные приборы становятся общепотребительными, их зарядка осуществляется только лучом, или в основном средствами сбора / преобразования энергии. Это означает появление реальных узлов Интернета вещей, в котором вещи могут непосредственно подключаться друг к другу и взаимодействовать. Возможно развертывание миллиардов подобных узлов					
Федеральная Комиссия связи (FCC, США) предлагает несколько новых частотных диапазонов около 100 ГГц для нелицензируемого использования для разрешенной деятельности в области НИОКР				Появление подходящих* дронов на солнечной энергии, запускаемых однократно на год (для поддержки связи)		Появление подходящих* солнечных дронов и спутников для очень низких околоземных орбит, запускаемых однократно на 6–8 лет (поддержка связи)		Появление 6G-стандартов на частоте около 1 ТГц		Развертывание 5G-средств на максимально высоких частотах, но не выше 200 ГГц		 5G выходит из употребления									
КНР тестирует 6G-компоненты на спутниках		Создание подходящих* функционирующих диодов, транзисторов, интеллектуальных отражающих поверхностей для частоты менее 1 ТГц			Создание 6G испытательных систем/стендов/сред по всему миру			Создание подходящих* функционирующих диодов, транзисторов, интеллектуальных отражающих поверхностей для частот около 1 ТГц		КНР обладает наибольшим парком развернутых 6G-систем											
Реализация программы FP7** Еврокомиссии полностью охватывает аспекты разработки 6G. Летные испытания дирижабля Stratobus корпорацией Thales-Alenia (поддержка связи)										Прекращение продаж 4G-телефонов				Максимальное воздействие 5G-технологий		Снятие с производства 5G-средств связи		Максимальное воздействие 6G-технологий			

\* Подходящих под 6G-требования.  
\*\* FP7 – 7-ая Рамочная программа общеевропейских проектов НИОКР.

Рис. 3. Основные этапы развития рынка 6G-средств связи, приборов и материалов на период 2021–2041 гг., сформулированные корпорацией IDTechEx. Источник: IDTechEx

### ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ 6G

На данном этапе непросто понять, на что способна 6G-технология, но, если это будет похоже на развертывание предыдущих стандартов, влияние может быть огромным. Автономные транспортные средства, БПЛА, интеллектуальные заводы и искусственный интеллект уже приобретают большую популярность по мере массового внедрения 5G-технологий. Некоторые эксперты считают, что 6G может продвинуть эти приложения еще дальше, впервые возложив на искусственный интеллект (ИИ) функцию обеспечения и координации бесперебойной работы всех этих приложений. Беспилотные автомобили могут использовать ИИ, чтобы общаться с другими для навигации, предотвращения наезда на пешеходов / объекты

и обновления информации о дорожном движении. Искусственный интеллект и краевые вычисления также могут обеспечить использование таких устройств, как световоды и уличные фонари, в качестве сетевых антенн в прилегающих районах, позволяя транспортным средствам и людям поддерживать Wi-Fi-соединение.

Виртуальная и дополненная реальности могут стать более всеохватывающими. Представьте себе клеточные поверхности и объекты, которые можно ощутить с помощью подключенных имплантатов или даже беспроводных интерфейсов человека и компьютера. В исследовании Вирджинского технологического института за 2019 год говорится, что смартфоны в конечном итоге будут заменены носимыми устройствами, гарнитурами / очками

## СПЕЦИАЛЬНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА ЭКБ

### Молекулярно-лучевая эпитаксия

| A3N | A3B5 | A2B6

### Плазмохимическое травление и осаждение

| ICP-RIE | RIE | ICP-PECVD | PECVD

### Физическое осаждение

| Магнетронное распыление  
| Электронно-лучевое напыление

### Быстрый термический отжиг и процессинг



## ПРОИЗВОДСТВО И РЕИНЖИНИРИНГ КОМПЛЕКТУЮЩИХ И КЛЮЧЕВЫХ УЗЛОВ

| Молекулярные источники  
| Вводы вращения  
| Ростовые и линейные манипуляторы

в том числе для установок МЛЭ иностранного производства



и имплантатами, что обеспечит формирование мультисенсорной расширенной реальности\*.

Другие предполагают полное слияние киберпространства и физической реальности. Достаточно будет думать о каком-либо предмете, чтобы затем, имея мгновенный доступ к данным, хранящимся в облаке, получить необходимую дополнительную информацию.

Конечно, эти потенциальные приложения являются спекулятивными, поскольку исследования в области 6G все еще находятся в зачаточном состоянии, а стадия полного развертывания 5G-сетей/средств связи наступит через несколько лет. Возможно, даже потребуется реинжиниринг Интернета, прежде чем он сможет поддерживать 6G-технологии. Все эти устройства в некоторых случаях потребуют постоянного и устойчивого питания (аккумуляторные батареи, стабильное подключение к электросетям), иначе вся экосистема производства и других приложений окажется под угрозой. Тем не менее, 6G, безусловно, принесет больше новшеств, чем его предшественники, по крайней мере, на теоретической основе, но это будет захватывающая перспектива, если, впрочем, какое-либо из этих приложений будет реализовано в полной мере на практике [12].

## КНР ЛИДИРУЕТ ПО ПАТЕНТНЫМ ЗАЯВКАМ НА ТЕХНОЛОГИИ 6G-СВЯЗИ

Следует отметить, что, как и в случае с ранним этапом развития 5G-технологий, при разработках в сфере 6G-технологий ведущие позиции захватили китайские фирмы и научно-исследовательские организации. В сентябре 2021 года японская экономическая газета Nikkei (Nihon Keizai Shimbun) и Институт кибертворчества (Cyber Creative Institute) изучили около 20 тыс. патентных заявок на девять основных технологий связи шестого поколения. К этим технологиям относятся средства/системы связи, квантовые технологии, базовые станции и искусственный интеллект. По результатам исследования выяснилось, что на КНР приходится 40,3% заявок на патенты 6G, далее следуют США (35,2%), Япония (9,9%), Европа (8,9%) и Южная Корея (4,2%).

Патентные заявки КНР в основном связаны с инфраструктурой мобильной связи. Крупнейшими китайскими патентными заявителями являются Huawei, State Grid Corporation of China и China Aerospace Science and Technology. В ноябре прошлого года Университет электронных наук и технологий Китая запустил первый в мире 6G-спутник. Предполагается, что быстроедействие

технологии 6G в 10 раз превышает быстроедействие технологии 5G [16].

## ГРАФЕН И 6G-СВЯЗЬ

При освоении 6G-технологий, как и многих других высокотехнологичных материй, важную роль играет выбор материалов для изготовления электронной компонентной базы, обеспечивающих реализацию всего потенциала новой технологии. В случае 6G-технологий одним из таких материалов является графен. В мае 2021 года фирма IDTechEx опубликовала доклад «Оценка рынка графена и 2D-материалов на 2021–2031 годы» (Graphene Market & 2D Materials Assessment 2021–2031). В нем отмечено, что освоение и развитие 6G-технологий связи требует использования графена. Первоначально 6G будет запущен на частоте нескольких сотен гигагерц. В лабораторных условиях уже разработано несколько типов графеновых диодов и транзисторов, а также технологий их формирования, предназначенных для использования в 6G-инфраструктуре и приборах связи. Но ситуация усложнится при появлении второго поколения 6G-связи, рассчитанного на частоту около 1 ТГц (для обеспечения максимального времени отклика и скорости передачи данных, информационной емкости и т. д.). Обещаемые пользователям преимущества 6G могут быть получены только при использовании возможностей графена. Предполагается, что повсеместное использование 6G отражающих интеллектуальных поверхностей (RISS) позволит не только разумнее и точнее перенаправлять лучи, но и фактически усиливать их, осуществляя беспроводную зарядку телефонов и работающих устройств. Графен поддерживает подобные подходы [17].

\* \* \*

Переход на 5G-технологии позволяет осуществить цифровую модернизацию экономики в целом, ее отдельных отраслей, а также всех сфер жизни человека. В еще большей мере это будет относиться к 6G-технологиям. На основе конвергенции 5G и гиперразмерных вычислений в облачной среде возникает новая реальность существования и развития человечества. Все решения в области 5G-связи (а тем более и 6G-связи) являются сплавом аппаратного и программного обеспечения. Преимуществами в развертывании и развитии 5G/6G-технологий, модернизации экономики на их основе будут иметь страны, обладающие собственными перспективными аппаратными (полупроводниковые приборы, включая ИС) и программными платформами.

Работы в области развития и совершенствования 5G/6G-технологий связи показывают, что в единое поле вовлекаются такие отрасли промышленности и области знания, как полупроводниковые, информационные, квантовые технологии, материаловедение, математика, физика, химия, вычислительная техника, искусственный

\* XR (Extended Reality) – расширенная реальность, все реальные и виртуальные комбинированные среды и взаимодействия человека и машины, создаваемые компьютерными технологиями и носимыми устройствами. Включает репрезентативные формы, такие как дополненная реальность, смешанная реальность и виртуальная реальность, а также области, интерполированные между ними.

интеллект и многое другое. Безусловно, становление инфраструктуры 5G/6G-связи окажет существенное влияние на ускорение научно-технического прогресса.

Нужно отметить еще одно: развертывание 5G миллиметровой (mmWave), а затем и 6G-связи означает наступление эры «всепроникающей» информационной инфраструктуры. Особенностью этого периода, в частности, станет возможность практически мгновенной передачи огромных объемов информации в реальном масштабе времени. Здесь возникают, помимо воздействия на экологию и повседневную жизнь человека, по крайней мере, два момента. Во-первых, дальнейшее развитие получат концепции сетецентричного ведения боевых действий. Эти концепции во все большей мере будут охватывать не только непосредственную зону ведения военных операций, но и всю территорию противоборствующих сторон и их союзников. Все дальше будет размываться граница между спутниками военного и гражданского назначения (что уже наблюдается в условиях проведения специальной военной операции ВС РФ на территории Украины), все больше будут расширяться возможности корректировки хода боевых действий, а также ведения разведки на различных уровнях и в различных сферах развития 5G/6G-технологий. Во-вторых, во все большей степени будет осложняться противодействие иностранным радио- и радиотехническим средствам разведки.

Соответственно, для России вопрос развития микроэлектроники, изделия которой и становятся аппаратным обеспечением, не просто один из вопросов обеспечения национальной безопасности, но и вопрос сохранения суверенитета и территориальной целостности. При этом микроэлектронику необходимо рассматривать как базовую отрасль развития не только всего радиоэлектронного комплекса в целом, но и тех отраслей, что получают реальные выгоды в процессе цифровизации.

От автора: «Интересно отметить, что 6G-технологии будут развертываться в два этапа – по сценарию 5G-связи. Сначала появятся сети/средства связи, использующие диапазон менее 1 ТГц (в случае 5G это рубеж до 6 ГГц), а затем – технологии диапазона около 1 ТГц (для 5G это окно от 6 ГГц до 200 ГГц). Возникает вопрос, а что будет после 2041 года, когда закончится срок реализации маршрутной карты развития 6G-связи? Возникнет 7G? И как она будет выглядеть? Если в рамках 6G возможна замена телефонных трубок на имплантируемые в тело человека средства, то останется ли в рамках возможной 7G-технологии сам человек в его нынешнем виде?».

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Макушин М.** Битва за будущее микроэлектроники // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2021. № 2 (00203). С. 114–126.
2. **Manners D.** 2G and 3G to be phased out by 2033 and O-RAN to take 35% of UK network by 2030 // Electronics Weekly. 8<sup>th</sup> December. 2021.
3. **Bush S.** 5G small cell trial for City of London. Electronics Weekly. 20<sup>th</sup> May. 2022.
4. **Manners D.** China and Europe dominate base station market // Electronics Weekly. 29<sup>th</sup> July. 2021.
5. **Manners D.** 624m 5G phones to be sold in 2021 // Electronics Weekly. 21<sup>st</sup> June. 2021.
6. 5G Forecast: 1.3 Billion by Year-End 2022 // Microwave Journal. March 24. 2022.
7. Global 5G SA Infrastructure Market to Exceed \$112B by 2027 // Microwave Journal. February 16. 2022.
8. **Manners D.** US DoD O-RAN Design Challenge // Electronics Weekly. 11<sup>th</sup> April. 2022.
9. **Chauhan K.** Global 5G Smartphone Sales Penetration Surpassed 4G for First Time in January 2022 // Counterpoint. March 16. 2022.
10. **Sameh Yamany.** Hyperscalers and 5G: Collision or Collusion? // EE Times. 02.28.2022.
11. **Макушин М.** Аспекты развития 5G-сетей // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2019. № 6 (00187). С. 100–112.
12. **Atwell C.** What is 6G and future wireless? // Fierce Electronics. Oct 7. 2021.
13. **Dahad N.** Apple Gets in on 6G Definition Race // EE Times. 02.21.2021.
14. **Макушин М.** Маршрутная карта развития 6G-технологий // Экспресс-информация по зарубежной электронной технике. Электронная версия. Выпуск 15 (6714) от 6 августа 2020 г. С. 4–11.
15. **Макушин М.** Маршрутная карта развития 6G-технологий // Экспресс-информация по зарубежной электронной технике. Электронная версия. Выпуск 16 (6715) от 20 августа 2020 г. С. 4–11.
16. **Manners D.** China leads in 6G patents // Electronics Weekly. 2021.17<sup>th</sup> September.
17. Graphene for 6G Communications, Explores IDTechEx. // Microwave Journal. May 11. 2021.

**ООО "Руднев-Шиляев"**

Разработка и производство:

- платы сбора данных
- измерительные приборы
- виброакустические системы
- инструментальные решения задач заказчика

Москва (495) 787-63-67  
(495) 787-63-68

www.rudshel.ru  
adc@rudshel.ru