

# ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ RIS в сетях мобильной связи 6G

**В.О.Тихвинский**, д.э.н., академик РАН, проф. МВТУ им. Н.Э.Баумана и МУИТ (Республика Казахстан), главный научный сотрудник ФГБУ НИИР / vtniir@mail.ru,

**Е.Е.Девяткин**, к.э.н., директор Центра исследований перспективных беспроводных технологий связи (ЦИ ПБТС) ФГБУ НИИР / deugene@list.ru,

**М.В.Тихвинская**, специалист ЦИ ПБТС ФГБУ НИИР / mtikhvinskaya@yandex.ru,

**А.С.Пастух**, начальник лаборатории ЦИ ПБТС ФГБУ НИИР / apastukh@lenta.ru,

**Ю.Я.Смирнов**, к.т.н., начальник отдела НИИ Минобороны РФ / syy1969@mail.ru

УДК 621.396.2, DOI: 10.22184/2070-8963.2023.109.1.56.64

Представлена технология реконфигурируемой интеллектуальной поверхности RIS, которую предполагается использовать в сетях мобильной связи шестого поколения. Сформулированы основные проблемы и направления исследований, связанных с интеграцией технологии RIS в сети 6G.

## ВВЕДЕНИЕ

Технология RIS (Reconfigurable Intelligent Surface, реконфигурируемая интеллектуальная поверхность) представляет новый тип системного узла сети мобильной связи 6G, который использует интеллектуальные радиоповерхности с тысячами небольших антенн или элементов из метаматериала для динамического формирования и управления радиосигналами целенаправленным образом. Метаматериалы для RIS создаются на основе металлов, а также электрических изоляторов или диэлектриков. Когда электромагнитная волна от передатчика 6G попадает на метаматериал поверхности с технологией RIS, то метаматериал изменяет фазу и другие электрические характеристики волны, позволяя изменять фронт волны и отражать волны в соответствии с программируемым направлением.

Согласно определению Европейского института стандартизации электросвязи ETSI [1] реконфигурируемая интеллектуальная поверхность RIS – это новый тип системного узла, формируемый на основе технологии реконфигурируемой отражающей поверхности, где реакция поверхности на облучение сигнала может быть адаптирована к состоянию среды распространения с помощью управляющих воздействий на нее.

Технология RIS может превратить среду распространения сигнала в услугу, которая позволяет разработать множество новых вариантов использования этой технологии. К этим вариантам относятся улучшение ключевых показателей эффективности сетей мобильной связи для различных видов среды распространения сигнала, таких как покрытие и пропускная способность, а также запуск новых приложений, например,

позиционирования и зондирования. Ожидается, что благодаря характеристикам RIS станет ключевой технологией в будущих беспроводных системах, включая 5G Advanced и 6G.

RIS рассматривается как новая технология для динамического и целенаправленного управления радиосигналами в пространстве между передатчиком и приемником мобильной связи 6G, ослабляющая эффект многолучевого замирания. Это послужило основой для создания новых вариантов использования данной технологии, направленных на улучшение различных ключевых показателей производительности системы (KPI) и поддержку новых приложений и возможностей мобильных технологий доступа 5G и 6G. К этим показателям относятся улучшения емкости сети, покрытия сети, точности позиционирования, безопасности и устойчивости сети, а также поддержка услуг зондирования, беспроводной передачи энергии (MLS) [2] и возможностей обратного рассеяния.

Реконфигурируемые интеллектуальные поверхности (RIS), еще называемые интеллектуальными отражающими поверхностями (IRS) или большими интеллектуальными поверхностями (LIS), получили значительное развитие со стороны разработчиков и операторов мобильной связи из-за их потенциала для увеличения пропускной способности и расширения зон покрытия за счет интеллектуальной реконфигурации среды распространения сигналов мобильных сетей связи новых поколений.

RIS считается перспективной технологией для сетей связи поколения 6G. Анализ современного состояния, перспектив развития рассматриваемой технологии и принципов ее работы позволяют оценить производительность, дизайн формирования луча и управление радиоресурсами, приложениями на основе машинного обучения для мобильных сетей с расширенными возможностями технологии RIS, а также интеграции RIS с другими технологиями сетей 6G.

RIS охватывает использование искусственного интеллекта, в частности, методов машинного обучения для решения проблем использования данной технологии в динамических сценариях, охватывающих случайные изменения сигналов в каналах связи и мобильность абонентов в сетях с расширенными возможностями.

Авторы на основе анализа технологий RIS сделали попытку определить основные проблемы и направления исследований, связанных с интеграцией технологии RIS в сети 6G.

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ RIS

В июне 2021 года в ETSI была создана индустриальная группа отраслевых спецификаций по реконфигурируемым интеллектуальным поверхностям (ISG RIS). Эта группа исследует и описывает варианты использования и сценарии развертывания технологии RIS на местности, определяет производные требования и определяет технологические проблемы в нескольких областях, включая фиксированный и мобильный беспроводной доступ, транспортные сети Fronthaul и Backhaul, обнаружение и позиционирование, пределы воздействия энергии и ЭМП, безопасность и конфиденциальность.

Новая группа изначально занимается идентификацией и описанием вариантов использования и сценариев развертывания, связанных с RIS. Группой ISG RIS ETSI также будут разработаны требования и определены технологические проблемы в нескольких областях, включая фиксированный и мобильный беспроводной доступ, прямой и транзитный доступ, обнаружение и позиционирование, пределы воздействия энергии и ЭМП, безопасность и конфиденциальность.

Силами ISG RIS будет разработана эталонная сетевая архитектура E2E, включающая элементы реконфигурируемых антенных поверхностей RIS, описана конкретная практика/рекомендации по развертыванию на основе технологии RIS, представлен анализ пробелов в микроэлектронике для RIS и вспомогательных технологий, а также будет проведена проверка выдвинутой концепции.

Группа ISG RIS ETSI, занимающаяся предварительной стандартизацией RIS, включая выявление пробелов в технологиях и стандартах, проводит следующие исследования:

- выявление пробелов и рекомендаций существующих и требуемых стандартов как внутри ETSI, так и в других международных организациях связи;
- определение и описание вариантов использования и конкретные сценарии, связанные с RIS;
- применение технологии RIS в сетях фиксированного и мобильного беспроводного доступа;
- использование RIS в транспортных сетях Fronthaul и Backhaul;
- восприятие и позиционирование;
- пределы воздействия энергии и электромагнитных помех;

- безопасность и конфиденциальность;
- документирование сетевой эталонной архитектуры E2E, включая элементы RIS;
- анализ практики и рекомендации по развертыванию сетей мобильной связи на основе RIS;
- анализ пробелов микроэлектроники и электронной компонентной базы для создания RIS и развития передовых технологий.

Индустриальная группа ETSI ISG RIS готовит технические отчеты по следующим направлениям исследований:

- варианты использования RIS, сценарии развертывания и требования;
- технологические проблемы RIS, архитектура и влияние на стандартизацию;
- модели RIS для целей связи, модели каналов и методология оценки.

В 2021 году группой ISG RIS ETSI были начаты исследования по трем рабочим вопросам. Результаты исследований опубликованы в виде отчетов индустриальной группы (а не традиционных отчетов ETSI):

1. Отчет GR RIS-001 [3] идентифицирует и определяет соответствующие варианты использования RIS с выбранными общими ключевыми показателями эффективности (KPI) и сценариями развертывания, в которых будет применяться технология RIS. В нем описываются потенциальные требования для каждого определенного варианта использования с целью обеспечения функциональной совместимости с существующими и будущими беспроводными технологиями и сетями.
2. Отчет GR RIS-002 [4] описывает технологические проблемы при развертывании RIS в качестве нового сетевого узла. Анализируя потенциальное влияние на сетевую архитектуру, архитектуру протокола и структуру управления RIS, он предлагает рекомендации по требованиям и потенциальному влиянию на спецификации, поддерживающие RIS в качестве новой функции.
3. В отчете GR RIS-003 [5] исследуются:
  - ▶ модели связи, которые предлагают компромисс между точностью и простотой расчета электромагнитных полей и сигналов для последующей оценки производительности и оптимизации RIS;

- ▶ модели каналов, включающие эффекты потерь на трассе и многолучевого пространства, а также влияние помех;
- ▶ ключевые показатели эффективности и методология оценки эффективности RIS для сетей беспроводной связи, включая сосуществование между различными сетевыми операторами, а также для сравнения методов передачи, протоколов связи и развертывания сетей.

Европейским союзом также уделяется большое внимание развитию этой технологии, для исследования которой открыто финансирование большого количества НИР и ОКР с общим бюджетом более 20 млн евро, проводимых в рамках программы ЕС "Горизонт – 2020" [1] в период с ноября 2019 по февраль 2025 года:

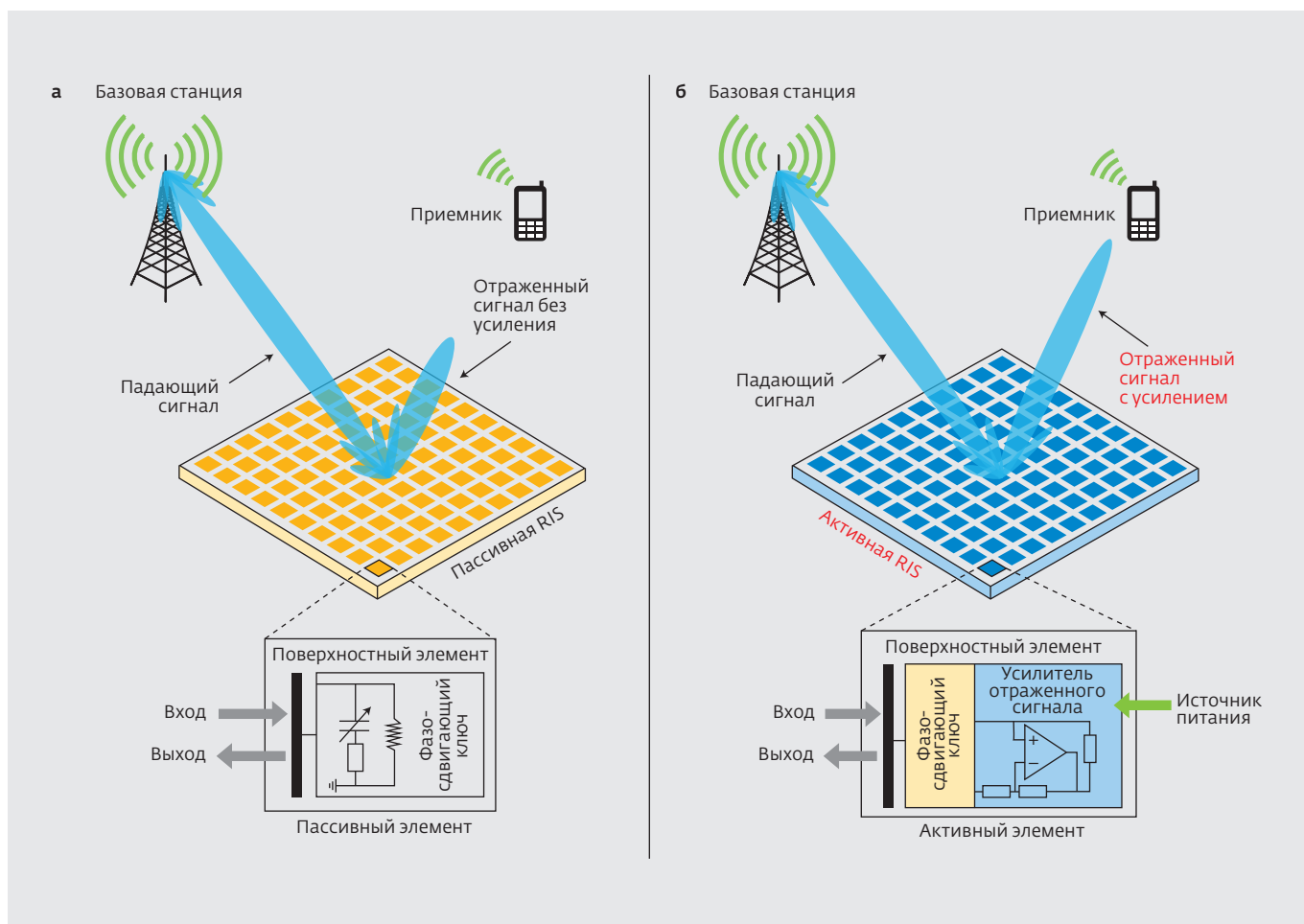
- H2020-ICTARIADNE (grant 871464, 6 млн евро): ноябрь 2019 – октябрь 2022 года;
- H2020-MSCA-ETNMetaWireless (grant 956256, 4 млн евро): декабрь 2020 – ноябрь 2024 года;
- H2020-ICTRISE-6G (grant 101017011, 6,5 млн евро): январь 2021 – декабрь 2023 года;
- H2020-MSCA-EiD 5GSmartFact (grant 956670, 3,7 млн евро): март 2021 – февраль 2025 года;
- H2020-MSCA-IF PathFinder (grant 891030, 185 тыс. евро): май 2021 – апрель 2023 года;
- H2020-MSCA-IF SURFER (grant 101030536, 185 тыс. евро): февраль 2022 – январь 2024 года.

Таким образом, не вызывает сомнений, что вопрос внедрения технологии RIS включен в число актуальных проблем развития технологий 5G и 6G на ближайшие годы.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ RIS

Существующие технологии RIS можно условно разделить на непрерывные и дискретные в зависимости от используемых элементов реконфигурируемых поверхностей. В зависимости от потребляемой мощности элементами реконфигурируемых поверхностей технологии RIS также можно разделить на активные и пассивные (рис.1).

Отличия пассивных RIS, которые отражают сигналы без усиления, от активных RIS состоят в том, что последние могут усиливать отраженные сигналы через встроенные в их элементы усилители. Чтобы охарактеризовать усиление сигнала и учесть шумы, вносимые активными элементами RIS, разрабатывают модели сигналов активных RIS [6, 7], которые



**Рис.1.** Технология реконфигурируемых интеллектуальных поверхностей с пассивными и активными элементами [11–14]: а – пассивная RIS, б – активная RIS

позволяют анализировать асимптотическую производительность активных RIS, чтобы оценить прирост пропускной способности, который они обеспечивают для сетей мобильной связи.

Рассмотрим определение технологии RIS на основе потребности в подведении мощности для питания элементов реконфигурируемых интеллектуальных поверхностей в целях усиления отражаемого сигнала.

**Активные RIS:** термин "активный RIS" используется, когда в поверхность встроены энергопотребляющие отражающие элементы RIS, включающие усилители и последовательные блоки обработки, изменяющие фазу отражаемых сигналов.

С другой стороны, активные системы RIS представляют собой естественную эволюцию антенных систем massive MIMO (метод пространственно-временной селекции сигналов),

посредством размещения все большего и большего числа управляемых программным обеспечением антенных элементов на двумерной (2D) поверхности конечного размера.

В работе [8] показано, что возможно построение активных RIS с большой интеллектуальной поверхностью (LIS), у которых расстояние между элементами реконфигурируемой поверхности уменьшается при увеличении числа элементов. Компактная интеграция большого количества небольших активных элементов RIS с реконфигурируемыми схемами обработки может реализовать практическую непрерывную апертуру антенны на основе реконфигурируемой поверхности. Активная RIS-структура может использоваться для передачи и приема сигналов по всей поверхности с использованием принципа голограммы.

Активная RIS-структура может быть построена таким образом, когда каждый отражающий

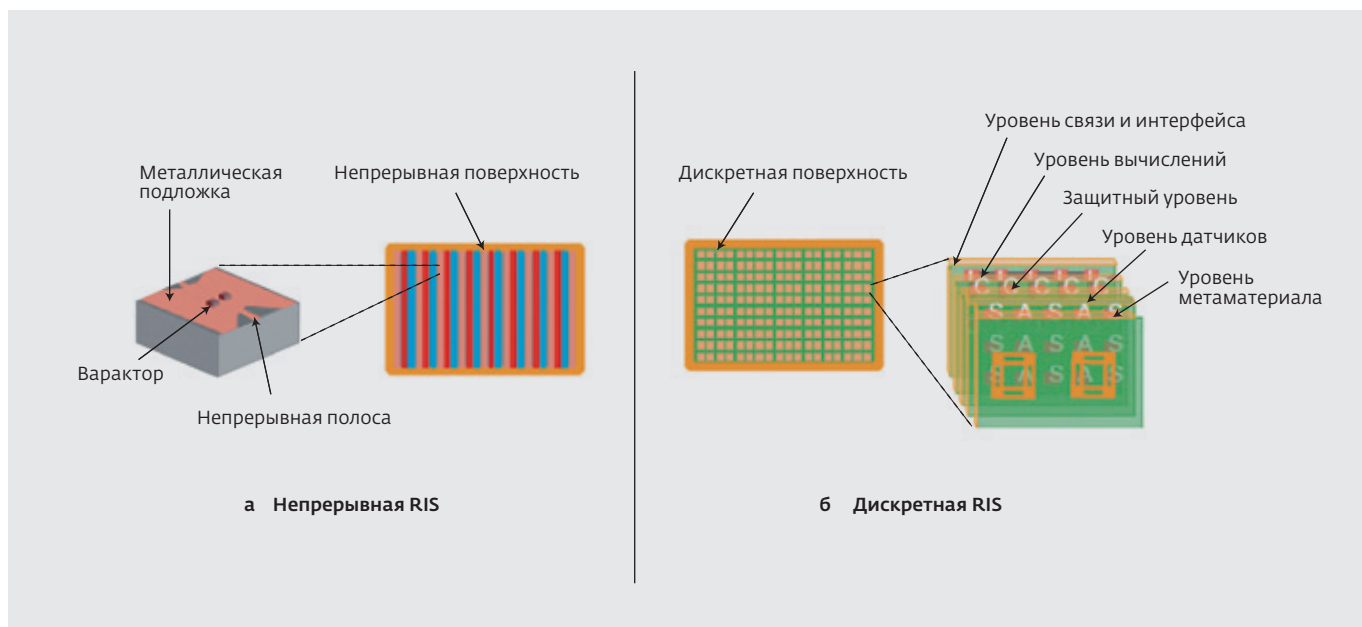


Рис.2. Непрерывные и дискретные RIS

элемент поверхности снабжен усилителем мощности.

**Пассивные RIS:** они действуют как пассивное металлическое зеркало или волновой коллектор, который можно запрограммировать на изменение падающего электромагнитного поля в соответствии с выбранным алгоритмом [9, 10]. По сравнению со своим активным аналогом пассивная RIS обычно состоит из недорогих и практически пассивных элементов, не требующих выделенных источников питания.

Их схемы и встроенные датчики могут питаться от модулей сбора энергии. Такой подход потенциально может сделать их действительно энергетически самодостаточными. Независимо от конкретных решений технология пассивных RIS является привлекательной с точки зрения энергопотребления и ее способности реконфигурировать падающие на них радиоволны, пересылая входящий сигнал без использования какого-либо усилителя мощности или радиочастотных цепей и даже без применения сложной обработки сигнала.

Более того, пассивные RIS могут работать в полнодуплексном режиме без значительных внутренних помех или повышенного уровня шума и требуют только низкоскоростных каналов управления или транзитных соединений. Наконец, пассивные элементы структуры реконфигурируемой поверхности RIS могут быть легко интегрированы в электромагнитную среду сети

беспроводной связи, при этом энергопотребление и стоимость оборудования позволяют размещать их на фасадах зданий, потолках жилых и производственных помещений, в корпусах ноутбуков и даже в одежде человека.

Рассмотрим деление технологий RIS в зависимости от используемых элементов реконфигурируемых поверхностей на непрерывные и дискретные.

**Дискретные RIS** представляют собой дискретные голографические поверхности с несколькими входами и несколькими выходами (англ. NMIMOS), которые состоят из множества дискретных элементов – ячеек, изготовленных из программно управляемых метаматериалов. Каждый элемент состоит из металлических и диэлектрических слоев, а также одного или нескольких переключателей или других настраиваемых компонентов. Средства электронного управления электромагнитными свойствами элементов RIS могут включать: готовые электронные компоненты, жидкие кристаллы, микроэлектромеханические системы или электромеханические переключатели с реконфигурируемыми электрическими свойствами. Такие структуры существенно отличаются от традиционной антенной решетки MIMO. Один из вариантов дискретной поверхности основан на дискретных элементах ("метаатомах") с электронным управлением свойствами отражения [11]. Другим типом дискретной поверхности может

быть активной поверхностью RIS, построенная на основе фотонных антенных решеток [12].

**Непрерывные RIS** представляют поверхности, объединяющие практически бесконечное количество элементов RIS на ограниченной площади поверхности. Они состоят из металлических лент, включающих варакторы и непрерывные диэлектрические полосы. Технология непрерывных RIS может формировать пространственно непрерывную апертуру приемопередатчика [12–14]. По сравнению с дискретными RIS непрерывные RIS имеют некоторые существенные отличия с точки зрения реализации и аппаратного обеспечения.

Сравнение дискретных RIS и непрерывных RIS представлено на рис.2.

Главным отличием дискретных и непрерывных RIS является подход, применяемый для получения дискретного или непрерывного фазового сдвига в реконфигурируемой интеллектуальной поверхности для увеличения пропускной способности и расширения зон покрытия мобильных сетей.


#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ RIS

При реализации реконфигурируемых интеллектуальных поверхностей в местах размещения базовых станций сетей 6G может возникнуть ряд технологических проблем [15], которые могут препятствовать успешному коммерческому применению технологии RIS и потребуют решения следующих технологических задач:

- разработка абонентских устройств 6G с необходимыми радиоэлектронными характеристиками и разработка соответствующих моделей каналов связи с их экспериментальным подтверждением;
- исследование фундаментальных ограничений и потенциальных преимуществ

при использовании сетей 6G, разработка и применение эффективных сценариев развертывания RIS, при которых данная технология обеспечивает преимущество по сравнению с традиционными ретрансляторами и нереконфигурируемыми отражающими поверхностями;


- разработка технологий с использованием пассивного режима формирования луча (Beamforming);
- исследование свойств метаматериалов и возможностей для их использования в различных видах технологий RIS;
- разработка алгоритмов управления RIS в реальном времени;
- применение активных RIS, поскольку выделенный канал для передачи сигналов управления между базовой станцией 6G и RIS представляет собой дополнение к существующей транспортной сети с незаданной пропускной способностью и, как следствие, это ведет к увеличению задержек в плоскости управления сети 6G;
- оценка зависимости пропускной способности транспортных каналов к RIS от числа элементов в составе RIS, количества битов управления для каждого элемента, частоты их обновления и временных интервалов передачи кадров данных, она также будет масштабироваться с количеством абонентских терминалов в зоне расположения RIS. Следовательно, возникает проблема определения необходимого количества реконфигурируемых интеллектуальных поверхностей на сектор/cоту;
- оценка снижения эффективности работы RIS вследствие погодных условий для сценариев размещения базовых станций сетей 6G вне помещений.



**ИНФОТЕЛ**  
Интеллект. Опыт. Результат.

**ONEPLAN**

**ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И УСЛУГИ  
ПО ПЛАНИРОВАНИЮ И ОПТИМИЗАЦИИ  
СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ  
И ФИКСИРОВАННОЙ СВЯЗИ**



step@rpls.ru
+7 812 590-77-11
www.rpls.ru

## РЕГУЛЯТОРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ RIS

В своей основе RIS превращают беспроводную среду из пассивной в интеллектуальную, поэтому канал становится программируемым. Важно отметить, что он характеризуется низкой стоимостью, низким энергопотреблением и простотой развертывания. Таким образом, технология RIS бросит вызов основным парадигмам проектирования беспроводных систем доступа, создаст инновационные возможности, которые могут постепенно повлиять на эволюцию архитектуры сетей беспроводного доступа, технологий доступа и сетевых протоколов в течение следующего десятилетия.

В то же время применение RIS для сетей 6G вызывает вопросы в части согласования с национальными и международными регуляторными нормами. В частности, при работе сетей 6G в различных полосах частот необходимо соблюдение электромагнитной совместимости с РЭС других радиослужб, использующих совпадающие или примыкающие полосы радиоспектра в соответствии с национальной таблицей распределения частот, а также соответствие нормам электромагнитной безопасности.

Стоит отметить, что в мире в настоящий момент отсутствуют какие-либо наработки в этом направлении. В Международном союзе электросвязи в ходе разработки Отчета МСЭ-R М.2516 "Будущие технологические тренды наземных систем международной подвижной электросвязи до 2030 и далее" [15] вопрос регулирования RIS поднимался некоторыми администрациями связи, однако, по мнению большинства участников рабочей группы МСЭ-R, в которой проходило обсуждение, данный вопрос поднимался как вопрос национального регулирования и не входит в компетенцию МСЭ. В этой связи, целесообразным является разработка возможности учета параметров RIS регуляторными органами при рассмотрении заявляемых РЭС.

В части электромагнитной совместимости основная проблема при использовании RIS в сетях 6G заключается в том, что при регистрации передающего РЭС последнее формально может соответствовать необходимым нормам ЭИИМ, позволяющим не создавать помехи другим РЭС. При этом добавление RIS в зону обслуживания зарегистрированного РЭС с целью улучшения энергетического баланса способно существенно изменить электромагнитную

обстановку в зоне применения РЭС. Это может создать ситуацию, при которой применяемое РЭС будет создавать помеховое воздействие на РЭС других радиослужб. В то же время учесть влияние использования RIS в предварительных расчетах при регистрации РЭС не представляется возможным из-за отсутствия норм по регулированию применения RIS для улучшения качества покрытия мобильных сетей, а также отсутствия какой-либо информации о параметрах используемых RIS в исходных данных заявляемых РЭС.

Например, в России параметры RIS можно было бы учитывать в формах исходных данных (ИД) или в карточках ГКРЧ по форме № 1. Детальная реализация отражения характеристик RIS в исходных данных заявляемых РЭС является предметом будущих детальных исследований и обсуждения всех заинтересованных сторон: регулятора, операторов связи и органов надзора за соблюдением медико-биологических норм радиоизлучающих устройств.

В части электромагнитной безопасности, стоит отметить социальный фактор, который потенциально может ограничить применение RIS. Высокая степень обеспокоенности населения обеспечением электромагнитной безопасности и экологических требований является одним из мешающих факторов внедрения новых технологий беспроводной передачи данных. Нахождение в зоне формирования RIS может создать опасения граждан за свое здоровье, ведь с точки зрения человека, не разбирающегося в тонкостях проектирования РЭС, использование RIS будет являться дополнительным источником излучения. В этой связи одной из важнейших задач является создание условий, при которых будет возможно достаточно объяснить гражданам, что в зоне размещения RIS уровни напряженности поля соответствуют санитарным правилам и нормам (СанПинСанПиН2.1.8/2.2.4.1190-03 и СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03) [16, 17] и что угроза здоровью людей отсутствует.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взросший потенциал технологии RIS требует рассмотрения ее применения в сетях мобильной связи 6G, о чем свидетельствуют различные технологические концепции, начиная от пассивных отражающих решеток и динамических метаповерхностных антенн. В последнее время наблюдается резкое увеличение числа исследований



# ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



В.О. Тихвинский,  
С.В. Терентьев,  
В.А. Коваль,  
Е.Е. Девяткин

## Развитие сетей мобильной связи от 5G Advanced к 6G: проекты, технологии, архитектура

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – 528 с.  
ISBN 978-5-94836-662-3

Цена 1960 руб.

В книге рассмотрены перспективы эволюционного развития и стандартизации технологий мобильной связи пятого поколения 5G Advanced/IMT-2020 на пути к 6G/IMT-2030 международными организациями связи, представлены планы развития технологий 5G Advanced партнерским проектом 3GPP в релизах 17 и 18, проанализированы основные бизнес-модели услуг и промышленные приложения в сетях 5G Advanced/IMT-2020, рассмотрены цепочки создания стоимости услуг 5G. Проведена оценка возможностей выделения частотных диапазонов для развития сетей 5G и 6G с учетом повестки дня ВКР-23, рассмотрены особенности построения и архитектура сети радиодоступа 5G RAN фазы 3 (релиз 17), виды сигналов, нумерология их формирования и частотные каналы, используемые в сетях радиодоступа 5G Advanced.

Показаны будущие изменения сценариев архитектуры и функций базовой сети 5G Core, технологии программно определяемых сетей SDN сети 5G и технологии виртуализации сетевых функций NFV, реализуемые в базовой сети 5G Core для управления и оркестрирования. Приведены технические и ЭМС-характеристики радиооборудования (базового и абонентского) сети радиодоступа 5G RAN для новой фазы эволюции технологий 5G Advanced. Рассмотрены вопросы построения сети синхронизации в 5G Advanced.

Рассмотрены возможности построения фрагмента сетей 5G и 6G на спутниках и высокоподнятых летающих платформах HAPS, железнодорожной сети FRMCS на базе 5G Advanced, их архитектура, использование алгоритмов и технологий искусственного интеллекта в сетевых элементах 5G Advanced.

Представлено видение и будущий облик мобильной связи поколения 6G/IMT-2030, его ключевые услуги, перспективы освоения 6G терагерцевого диапазона волн в интересах внедрения голографической связи, виртуальной реальности, человекоцентричных приложений и Интернета вещей.

Для специалистов, студентов и магистрантов инфокоммуникационных специальностей университетов.

### Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91  
По факсу: (495) 956-33-46  
E-mail: [knigi@technosfera.ru](mailto:knigi@technosfera.ru)  
[sales@technosfera.ru](mailto:sales@technosfera.ru)

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ  
[www.technosfera.ru](http://www.technosfera.ru)



и разработок по теме RIS как в исследовательских центрах, так и в организациях, работающих в области проектирования антенн, метаматериалов, электромагнетизма, обработки сигналов и беспроводной связи. Включение технологии RIS в состав технологий мобильных сетей 6G рассматривается как средство для преобразования любой среды распространения беспроводного сигнала в динамически программируемую среду для решения таких задач, как расширение зоны покрытия сети, восприятие окружающей среды и позиционирование, а также пространственно-временная селекция.

Представленный анализ архитектур построения RIS и их эксплуатационных решений, а также последние разработки в области моделирования RIS и распространения беспроводных сигналов с поддержкой RIS позволяет сделать вывод об актуальности данной технологии при построении сетей 6G. Исследования по применению технологии RIS в сетях 6G на национальном уровне необходимо внести в перечень исследований дорожной карты 6G, утверждаемый Правительством РФ. Для обеспечения единых подходов в применении технологии RIS для сетей мобильной связи целесообразно стандартизировать эти технологии.

Кроме того, рассмотренные технические реализации RIS потребуют создания национальной и международной регуляторной баз для использования RIS в сетях 6G. Необходимость разработки механизмов регулирования применения различных технологий RIS на национальном уровне будет связана не только с необходимостью обеспечения электромагнитной совместимости сетей 6G с РЭС других радиослужб, но и с обеспечением электромагнитной безопасности населения в зонах применения RIS.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Renzo M.D.** Reconfigurable Intelligent Surfaces for Wireless Communications: State of Research and the Road Ahead // ISG-ETSI Presentation on RISs. September 30, 2021.
2. **Тихвинский В.** и др. Архитектура сетей 6G: Принципы и особенности построения // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2022. № 3. С. 78–84; № 4. С. 44–49.
3. ETSI Report GR RIS-001. Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS); Use Cases, Deployment Scenarios and Requirements. V. 2. 0.1, 2022.
4. ETSI Report GR RIS-002 Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS); Technological Challenges, Architecture and Impact on Standardization. 2022. V. 1. 0.8.
5. ETSI Report GR RIS-003. Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS); Communication Models, Channel Models and Evaluation Methodology. 2022. V. 2. 0.0.
6. **Zhi K.** et al. Active RIS Versus Passive RIS: Which is Superior with the Same Power Budget? // IEEE Communications Letters. 2022. Vol. 26. Issue 5. PP. 1150–1154.
7. **Куреев А.А., Ендовицкий Е.О., Буртаков И.А.** Моделирование беспроводных сетей с реконфигурируемой интеллектуальной поверхностью // Сборник трудов конференции "Информационные технологии и системы" 2021. М.: ИППИ РАН им. А.А.Харкевича, 2021.
8. **Hu S., Rusek F. and Edfors O.** Beyond massive MIMO: The potential of positioning with large intelligent surfaces, IEEE Trans. Signal Process. 2018. Vol. 66. No. 7. PP. 1761–1774.
9. **Huang C.** et al. Reconfigurable intelligent surfaces for energy efficiency in wireless communication // IEEE Trans. Wireless Communications. 2019. Vol. 18. No. 8. PP. 4157–4170.
10. **Liaskos C., Nie S.** et al. A new wireless communication paradigm through software-controlled metasurfaces // IEEE Communications Mag. 2018. Vol. 56. No. 9. PP. 162–169.
11. **Yurduseven O.** et al. Dynamically reconfigurable holographic metasurface aperture for a mills-cross monochromatic microwave camera // Opt. Express. 2018. Vol. 26. No. 5. PP. 5281–5291.
12. **Pizzo A., Marzetta T.L. and Sanguinetti L.** Spatial characterization of holographic MIMO channels, IEEE J. Sel. Areas Commun. 2020. Vol. 38. No. 9. PP. 1964–1979.
13. **Zhang Z.** et al. Active RIS vs. Passive RIS: Which Will Prevail in 6G? [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.15154> (дата обращения 26.01.2023).
14. ITU, Report ITU-R M.2516-0. Future technology trends of terrestrial International Mobile Telecommunications systems towards 2030 and beyond, 2022.
15. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. М.: Минздрав России, 2003.
16. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. М.: Минздрав России, 2003.

NEW

ЭКСПОЗИЦИЯ  
РОБОТОТЕХНИКИ



# EXPO ELECTRONICA

25-Я ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОНИКИ

11–13 АПРЕЛЯ 2023  
МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО



ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ,  
МОДУЛИ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ



ТЕХНОЛОГИИ,  
ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
ЭЛЕКТРОНИКИ



НОВЫЙ  
РАЗДЕЛ

ВСТРАИВАЕМЫЕ СИСТЕМЫ  
И КОНЕЧНЫЕ РЕШЕНИЯ



ОРГАНИЗАТОР  
ORGANISER

ПОЛУЧИТЕ  
БИЛЕТ

ПО ПРОМОКОДУ ee23iCYRE

