



Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П.

## Особенности архитектуры сетей 5G. Вероятностное прогнозирование воздействия электромагнитных полей радиочастот на население (обзор литературы)

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия

**Введение.** Телекоммуникационная отрасль России стоит на пороге внедрения мобильной связи 5G/IMT-2020 (5G). Ожидаемые технологические инновации стандарта нового поколения приведут к росту пропускной способности сетей мобильных операторов, скорости передачи данных, появлению новых сценариев использования мобильной связи и развитию инновационных цифровых услуг. Это будет способствовать экономическому развитию за счёт увеличения производительности труда, автоматизации и внедрения новых технологий в различных сферах экономики и деятельности человека. Одновременно с этим будет изменяться и электромагнитная обстановка (ЭМО) в зонах пребывания людей.

**Цель исследования** – рассмотреть особенности архитектуры сети 5G с целью прогноза воздействия на население электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного (РЧ) диапазона.

Исследование носит аналитический характер. Информационной базой исследования явились российские стратегические документы по развитию технологий 5G, статьи, опубликованные в отечественных и иностранных журналах.

**Результаты.** Представлены основные входные данные для построения сетей 5G, позволяющие оценивать ЭМО, выделить особенности новой технологии, существенные с точки зрения воздействия ЭМП РЧ-диапазона на население. В сети 5G используются ранее не применявшиеся РЧ-диапазоны и новые типы антенн. С внедрением 5G существенно возрастает плотность базовых станций (БС) и точек доступа, снизятся высоты размещения антенн БС, изменятся пространственные и временные характеристики электромагнитного излучения (ЭМИ).

**Заключение.** Архитектура сети 5G существенно отличается от стандартов мобильной связи предыдущих поколений. Внедрение сетей 5G приведёт к значительному изменению электромагнитного фона в среде обитания. Актуальной задачей является разработка теории гигиенического нормирования ЭМП РЧ-диапазона для населения в условиях сложной ЭМО при одновременной эксплуатации сетей 5G и предыдущих поколений, а также новых подходов к определению уровней ЭМП в окружающей среде расчётными и инструментальными методами.

**Ключевые слова:** электромагнитные поля; электромагнитная безопасность; мобильная радиосвязь; сети 5G; обзор

**Для цитирования:** Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П. Особенности архитектуры сетей 5G. Вероятностное прогнозирование воздействия электромагнитных полей радиочастот на население (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (8): 792–796. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-8-792-796>

**Для корреспонденции:** Никитина Валентина Николаевна, доктор мед. наук, зав. отд. изучения электромагнитных излучений ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург. E-mail: v.nikitina@s-znc.ru

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Участие авторов:** Никитина В.Н. – концепция и дизайн исследования; сбор материала и обработка данных, написание текста; Калинина Н.И., Ляшко Г.Г., Дубровская Е.Н. – сбор данных литературы, сбор материала и обработка данных, редактирование; Плеханов В.П. – сбор данных литературы, сбор материала и обработка данных. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 30.03.2021 / Принята к печати 09.07.2021 / Опубликована 31.08.2021

Valentina N. Nikitina, Nina I. Kalinina, Galina G. Lyashko, Ekaterina N. Dubrovskaya, Vladimir P. Plekhanov

## Special features of the architecture of 5G networks. Probabilistic forecasting of the impact of electromagnetic fields of radio frequencies on the population (literature review)

North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation

**Introduction.** The Russian telecommunications industry is on the threshold of introducing 5G/IMT-2020 (5G) mobile communications. The expected technological innovations of the new generation standard will lead to an increase in the capacity of mobile operators' networks, data transfer speeds, the emergence of new scenarios for the use of mobile communications and the development of innovative digital services. This will contribute to economic growth by increasing labour productivity, automation and introducing new technologies in various economy and human activity areas. At the same time, the electromagnetic environment (EMO) in the areas where people stay will also change.

**The purpose of the study** is to consider the unique features of the architecture of the 5G network to predict the impact on the population of electromagnetic fields (EMF) of the radio frequency (RF) range.

**Material and methods.** The study is analytical. The information base of the research was Russian strategic documents on the development of 5G technologies, articles published in domestic and foreign journals.

**Results.** The primary input data for the construction of 5G networks are presented, allowing us to evaluate EMO and identify the new technology features that are significant in terms of the impact of RF electromagnetic fields on the population. The 5G network uses previously unused RF bands and new types of antennas. With the introduction of 5G, the density of base stations (BS) and access points will significantly increase, the heights of BS antennas will decrease, and the spatial and temporal characteristics of electromagnetic radiation will change substantially.

**Conclusion.** The architecture of the 5G network differs significantly from the mobile communication standards of previous generations. The introduction of 5G networks will lead to a significant change in the electromagnetic background in the environment. An urgent task is to develop a theory of hygienic regulation of RF

*EMF for the population in a complex electromagnetic environment with simultaneous operation of 5G networks and previous generations and new approaches to determining the levels of EMF in the environment by computational and instrumental methods.*

**Keywords:** *electromagnetic fields; electromagnetic security; cellular communications; 5G networks; population*

**For citation:** Nikitina V.N., Kalinina N.I., Lyashko G.G., Dubrovskaya E.N., Plekhanov V.P. Special features of the architecture of 5G networks. Probabilistic forecasting of the impact of electromagnetic fields of radio frequencies on the population (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (8): 792-796. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-8-792-796> (In Russ.)

**For correspondence:** *Valentina N. Nikitina*, MD, PhD, DSci., head of electromagnetic radiation research department, North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: [nikitina@s-znc.ru](mailto:nikitina@s-znc.ru)

#### Information about authors:

Nikitina V.N., <https://orcid.org/0000-0001-8314-2044> Dubrovskaya E.N., <https://orcid.org/0000-0003-4235-378X> Kalinina N.I., <https://orcid.org/0000-0001-9475-0176> Lyashko G.G., <https://orcid.org/0000-0002-4832-769X> Plekhanov V.P., <https://orcid.org/0000-0002-8141-7179>

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

**Contribution:** *Nikitina V.N.* – the concept and design of the study; collection and processing of material; writing a text; *Kalinina N.I.* – collection of literature data; collection and processing of material; editing; *Lyashko G.G.* – a collection of literature data; collection and processing of material; editing; *Dubrovskaya E.N.* – a collection of literature data; collection and processing of material; editing; *Plekhanov V.P.* – a collection of literature data; collection and processing of material. *All authors* are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Received: March 30, 2021 / Accepted: July 9, 2021 / Published: August 31, 2021

## Введение

Отрасль связи является одной из наиболее высокотехнологичных сфер деятельности. За несколько десятилетий мобильная телефония перешла от аналогового стандарта, способного передавать лишь речь, до цифровых технологий. Все первые стандарты сотовой связи были аналоговыми. Применялась частотная или фазовая модуляция для передачи речи и частотная модуляция для передачи информации управления. Начиная со второго поколения сотовой связи используются цифровые сотовые системы, что сделало возможным передачу по телефону текстовых SMS-сообщений и открыло доступ к интернету с мобильного телефона. Нарастающая скорость передачи данных, разработчики пришли к поколению связи 4G. Разработки по совершенствованию предыдущих поколений связи идут постоянно [1, 2]. В последние годы телекоммуникационная отрасль показала высокие темпы роста. Среднегодовая динамика роста этого сегмента рынка с 2015 по 2020 г. составляет 1,3%. По данным аналитической компании Content Review, база абонентов мобильного интернета очень быстро растёт по всему миру, особенно в России. С 2013 по 2018 г. в России количество пользователей сетями 3G/4G увеличилось более чем в 19 раз [3, 4]. Сегодня телекоммуникационная отрасль в России и во всём мире стоит на пороге внедрения нового, пятого поколения мобильной связи 5G/IMT-2020. Подобно предыдущим стандартам сети мобильной связи 5G создадут ускорение развития не только для телекоммуникационных систем, но и для других отраслей экономики<sup>1</sup>. В программе «Цифровая экономика Российской Федерации»<sup>2</sup> представлена система взглядов на роль и значение сети мобильной связи пятого поколения в развитии цифровой экономики. Сети связи пятого поколения рассматриваются как основа цифровой экономики [5]. В 2019 г. утверждена «Концепция создания и развития сетей 5G/IMT-2020 Российской Федерации» (далее – Концепция)<sup>3</sup>. В Концепции определены основополагающие услуги и сервисы, предоставляемые в сетях 5G, технологические решения и требования к построению сетей, сформирован подход к созданию

и использованию сети радиосвязи операторами с использованием различных диапазонов радиочастот. В документе представлены разработанные сценарии построения архитектуры сетей 5G и проведена оценка ресурсов на реализацию по различным моделям перехода от сетей предыдущих поколений к сетям пятого поколения, сформулированы направления разработки нормативно-правовых актов, необходимых для обеспечения возможности использования сетей 5G/IMT-2020 в России. В стратегических документах по развитию мобильной радиосвязи пятого поколения не рассматриваются вопросы электромагнитной безопасности населения.

Цель исследования – рассмотреть особенности архитектуры сети мобильной связи пятого поколения с целью прогноза воздействия на население электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного (РЧ) диапазона.

Аналитическое исследование включало рассмотрение стратегических документов развития сети 5G в Российской Федерации, архитектуру сети мобильной радиосвязи пятого поколения. Информационной базой исследования явились государственные программы, концепция развития мобильной связи пятого поколения, крупнейшая в России электронная библиотека научных публикаций ELIBRARY.RU, зарубежные информационные интернет-ресурсы: PubMed Central (PMC), Academia Publishing. В ходе работы проанализированы статьи, напечатанные в наиболее цитируемых иностранных журналах, имеющих кварталы Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> в базе данных Scopus.

Архитектура сети определяет основные элементы, характеризующие её общую логическую организацию, техническое и программное обеспечение, принципы функционирования. В процессе исследования в сравнительном аспекте рассмотрены некоторые параметры архитектуры сетей мобильной радиосвязи 4G и 5G. При этом учитывался наш опыт рассмотрения проектных материалов на размещение базовых станций и проведения измерений уровней ЭМП при вводе базовых станций в эксплуатацию. Анализ данных показывает, что российские сотовые операторы работают на частотах: 450; 790–820; 1800–1880; 2570–2620; 2620–2690 МГц (дециметровые волны). Используются различные типы передатчиков, которые поддерживают выходную мощность от 10 до 40 Вт, чаще всего мощность передатчика составляет 20 Вт. Передатчики имеют частотную модуляцию, вместе с тем получают распространение передатчики с фазовой модуляцией QPSK – Nokia Flexi LTE, цифровой модуляцией OFDM – DBS-3900. Базовые станции оснащены антеннами AQU4518R14v07, Kathrein 742215, TongYu TDT-172720DE-65F и др. Это направленные панельные антенны, устанавливаемые на антенно-мачтовых сооружениях различного типа на высотах от 15 до 65 м от поверхности земли, излучающие ЭМП в различных диапазонах. Коэффициенты усиления антенн составляют от 14,2 до 19 дБи.

<sup>1</sup> Развитие 5G в России – взгляд в будущее. Совместный отчёт Аналитического Центра при Правительстве Российской Федерации и Союза операторов мобильной связи LTE. 2019. URL: <https://ict.moscow/research/razvitiye-5g-v-rossii-i-mire-vzgliad-v-budushchee/> (дата обращения 18.02.2021 г.).

<sup>2</sup> Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р). URL: [www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71634878/](http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71634878/) (дата обращения 15.02.2021 г.).

<sup>3</sup> Приказ Минкомсвязи России «Об утверждении Концепции создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации» от 27.12.2019 г. № 923. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564162726> (дата обращения 18.02.2021 г.).

Мощность, подводимая к антеннам, составляет от 8 до 37 Вт. В 2016 г. при развёртывании сетей LTE стал активно развиваться RAN sharing (англ. RAN – Radio access network – сеть радиодоступа), то есть возможность разделения ресурсов между несколькими операторами. Это предполагает совместное использование башен и мачт, антенно-фидерной системы. При этом на основе единого оборудования создаются два ресурса с независимыми настройками и параметрами, что позволяет каждому из операторов сохранять свою стратегию переходов между стандартами и поддерживаемую технологию. Оборудование базовых станций устанавливается на башнях, столбах и других опорах, а также на крышах жилых, нежилых зданий – производственных, административных.

В литературных источниках приводятся данные по размещению базовых станций действующих стандартов мобильной радиосвязи в городской среде. По данным авторов, базовые станции размещались преимущественно на территории смешанной застройки (47,3%), в 40,6% случаях БС размещались в нежилой застройке, 8,1% БС – в жилой застройке. В 68,1% случаев антенны БС размещались на зданиях, где уже установлены антенны других операторов сотовой связи, – от 1 (43,1%) до 4 (1,4%). При сопоставлении расчётных величин плотности потока энергии (ППЭ) и измеренных уровней в контрольных точках на кровле зданий и внутри жилых помещений установлено, что измеренные величины ППЭ оказались ниже (иногда значительно) расчётных значений, но приближались к расчётным величинам при введении коэффициента расширенной неопределённости величины ППЭ. Встречаются случаи превышения плотности потока энергии ЭМП в зонах диаграмм направленности антенн БС на крышах зданий, на которых они установлены, при этом на прилегающей к передающим радиотехническим объектам (ПРТО) территории превышение ПДУ 10 мкВт/см<sup>2</sup> не зарегистрировано [6–8]. Это совпадает с результатами наших измерений уровней ЭМП, выполняемых при вводе БС в эксплуатацию.

## Общее описание технологических решений сетей 5G

Особенности технологии сетей 5G рассматриваются в Концепции создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации, во многих отечественных статьях и аналитических обзорах. Основная компоновка сети 5G отличается от сценария размещения БС в сетях мобильной связи предыдущих поколений. Подробно данный вопрос рассматривается в работе [9]. Авторы указывают, что в системах сотовой связи предыдущих стандартов БС одного оператора размещаются в сотах на значительном расстоянии друг от друга, что позволяет рассматривать их как отдельные ПРТО. При формировании топологии сетей 5G предлагается оперировать понятиями, связанными с урбанизацией территорий, такими как размещение сетевых фрагментов (БС и абонентских станций) в сельской местности, на открытом пространстве в пригородной местности, в плотной городской застройке, городских макросотах, внутри зданий. Вводится понятие «плотность сетевых фрагментов». Плотность размещения сетевых фрагментов зависит и от диапазона длин волн – чем меньше длина волны, тем выше плотность размещения. Расстояния между БС в городах могут быть от 20 м и менее внутри зданий и до 200 м на открытых площадках. Источники излучения ЭМИ в окружающем пространстве могут располагаться на расстояниях менее 20 м друг от друга хаотичным образом. Авторы отмечают, что ожидаемая топология сетей 5G в городских густонаселённых районах размывает понятие ПРТО. В сравнении с действующими стандартами связи уменьшаются высоты подвеса антенн БС. В пригородных районах и сельской местности реализуется близкая к существующей схема размещения БС.

Неравномерные режимы работы оборудования и постоянно меняющийся трафик создают сложности в идентификации источника, в понятии «направление на источник излучения» и его мощности, в определении поляризации поля. Каждому из типов БС определяется мощность передатчиков

для трёх видов зон обслуживания – большой, средней и локальной. Для локальных зон БС при использовании одного передатчика его мощность не должна превышать 0,25 Вт, для средних зон – 6,1 Вт. Для организации больших зон обслуживания мощность не ограничивается. Во всех вариантах максимальная выходная мощность БС сети 5G определяется при оптимальном планировании конкретного сегмента сети. По мнению авторов, необходимы новые подходы, адекватные модели и обоснованные критерии оценки, основой которых должен быть характерный для излучающих устройств параметр – излучаемая мощность (например, эквивалентная изотропно излучаемая мощность БС). Такой параметр хорошо увязывается с любой пространственной топологией сетей введением понятия «электромагнитная нагрузка» (ЭМН) на территорию, примыкающую к БС.

Имеют свои особенности антенные системы в составе сетей 5G. Секторные антенны имеют постоянную зону обслуживания, из которых каждая закрывает свой рабочий сектор, применяются в дециметровом диапазоне волн (300 МГц – 3 ГГц). Сегменты сетей 5G, работающие в сантиметровых и миллиметровых диапазонах длин волн, ориентированы на широкое применение смарт-антенн, основу которых составляют решётки излучателей. Предполагается применение смарт-антенн с переключаемыми секторами, когда из всех возможных выбираются сектора, близкие по направлению на абонента, и адаптивных смарт-антенн, что позволяет синтезировать характеристики направленности в произвольных направлениях. В миллиметровом диапазоне предполагается использование активных антенных систем ММО (Multiple Input Multiple Output) с большим количеством излучающих элементов в активной антенной решётке [10]. Очевидно, что характеристики излучения смарт-антенн существенно отличаются от характеристик обычных секторных, что приводит к формированию существенно отличающихся зон покрытия.

Согласно Концепции создания и развития сетей 5G/IMT-2020, сети 5G должны обладать гибкостью использования спектра и ширины полосы, то есть возможностью функционировать в различных диапазонах частот с применением сигналов с большей шириной спектра (до 100 МГц в диапазоне до 6 ГГц и до 400 МГц в диапазоне свыше 6 ГГц). К методам повышения эффективности использования спектра в сети 5G/IMT-2020 относятся использование усовершенствованных форм сигналов, модуляция и кодирование, а также обеспечение прямой связи между абонентскими терминалами.

В таблице представлены исходные данные для оценки электромагнитной безопасности сетевых технологий [11].

Сравнение исходных данных сетей 4G и прогнозируемого развития технологий сетей связи пятого поколения позволяет констатировать, что по всем позициям, представленным в таблице, имеются существенные отличия от сетей связи пятого поколения.

Развитие мобильных сетей связи при переходе к технологиям 5G/IMT-2020 характеризуется многократным ростом мобильного трафика, вызванного ростом объёма потребления видеослужб, увеличением количества подключённых к сети устройств (смартфоны, планшеты, беспилотные транспортные средства и т. д.), ростом темпа использования приложений, использованием современных online-игр и их обновлением. Сети 5G рассматриваются как ключевой фактор для интернета вещей IoT (англ. internet of things). Интернет вещей – концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, исключаяющего из части действий участие человека. В дальнейшем ожидается привязка для подключения к интернету электробытовой техники и множества других устройств: датчики бытовой техники, медицинских мониторов, дверных замков, автомобилей и различных носимых вещей, таких как смарт-часы. Прогнозируется, что количество сетевых устройств, подключённых к интернету, будет стремительно нарастать. В условиях быстрого развития сетей пятого поколения интернет вещей считается одной из наиболее важных

**Исходные данные для оценки электромагнитной безопасности сетевых технологий****Baseline data for the assessment of electromagnetic safety network technologies**

№ п/п	Исходные данные	Source data
1	Частотные и диапазонные свойства оборудования	Frequency and range properties of the equipment
2	Топология сети или сценарии размещения базовых станций на территориях с различным уровнем урбанизации и в сельских районах	Network topology or scenarios for the location of base stations in areas with different levels of urbanization and in rural areas
3	Мощность передающих устройств фрагментов сети	Power of transmitting devices of network fragments
4	Параметры излучения антенных систем, определяющие направления и зоны возможного обслуживания	Radiation settings of antenna systems that determine the directions and areas of possible service
5	Расположение антенных систем относительно зон обслуживания или расстояния до мест возможного пребывания человека	The location of the antenna systems relative to the service areas or the distance to the places of possible human stay
6	Режимы работы оборудования по временным интервалам, необходимые для привязки ПДУ к реальным условиям работы оборудования	Operating modes of the equipment by time intervals, necessary for linking the remote control to the actual operating conditions of the equipment

частей сетей 5G, поскольку он может поддерживать массивные объектные коммуникации [12–14].

Системы беспроводной сенсорной сети также снимают ряд ключевых логистических вопросов. Это можно рассмотреть на примере технологии V2X (англ. Vehicle-to-Everything – общее название для всех видов коммуникаций между транспортными средствами), разработанной General Motors. Это система беспроводной связи, позволяющая двум автомобилям обмениваться друг с другом информацией о состоянии на дорогах без участия человека. Все автомобили и другие объекты станут составными частями единой информационной сети, в которой происходит обмен данными между собою. Интернет транспортных средств IoV (англ. Single Root Input/Output Virtualization) использует сетевую инфраструктуру, позволяющую автомобилям подключаться к новым технологиям радиосвязи, и может поддерживаться сетями 5G [15, 16].

Вопросы риска здоровью населения при внедрении 5G активно обсуждаются в зарубежной научной литературе. Так, авторы отмечают, что технологии мобильной связи 5G должны быть внедрены во всём мире, несмотря на отсутствие всесторонних исследований потенциальных рисков для здоровья человека и окружающей среды. В обращении, направленном в ЕС в сентябре 2017 г., более 260 учёных и врачей запросили мораторий на развёртывание 5G до тех пор, пока независимые от отрасли учёные не расследуют риски для здоровья, связанные с этой новой технологией [17]. В публикациях отмечается, что внедрение интернета вещей (IoT) обещает удобный и лёгкий образ жизни с массивной взаимосвязанной телекоммуникационной сетью 5G, однако вызывает беспокойство, что вопросы безопасности здоровья остаются неизвестными. В эпидемиологическом плане изучение воздействия ЭМП РЧ диапазона проблематично, так как не остаётся контрольной группы лиц, не подвергшейся воздействию ЭМП [18]. Подчёркивается, что в настоящее время недостаточно адекватных научных данных для оценки воздействия на здоровье электромагнитных миллиметровых волн, которые планируется использовать в разработанных устройствах 5G, и представляется необходимым использовать принцип предосторожности и принцип ALARA при создании экологических требований для строительства и эксплуатации инфраструктуры планируемой системы 5G [19].

В работах рассматриваются также вопросы методологии измерения ЭМП, авторы отмечают, что особенности технологии 5G диктуют необходимость разработки новых подходов к измерению ЭМП и невозможность прямого использования методологии, успешно применяемой в сетях 2G, 3G и 4G [20].

Анализ стратегических документов по развитию сети мобильной радиосвязи пятого поколения в Российской Федерации, а также отечественных и зарубежных публикаций по технологии сетей 5G показывает, что к настоящему времени определены основные входные данные для построения сетей. Это позволяет прогнозировать и оценить с гигиенических позиций ЭМО на селитебных территориях, в жилых и обще-

ственных зданиях, выделить особенности новой технологии, существенные с точки зрения риска здоровью населения. Вот некоторые из них: многодиапазонность сети (использование дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн), многочисленность устройств 5G, сверхплотность радиосетей, использование активных антенных систем ММО, новых сценариев размещения БС, обеспечение прямой связи между абонентскими терминалами, применение сигналов с большей шириной спектра и новыми типами модуляции, биологическое действие которых не изучено. Можно прогнозировать, что мобильная связь 5G и широкое внедрение беспроводных сенсорных систем, представляющих собой распределённую сеть датчиков и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала, существенно трансформируют электромагнитный фон в среде обитания человека в направлении увеличения интенсивности модулированных широкополосных электромагнитных излучений сложного спектрального состава. В реальных условиях эксплуатации сетей мобильной связи возможно наложение сот, отличающихся диапазоном частот, мощностью излучения, режимами работы, зонами обслуживания. Сети 5G будут наслаиваться на уже существующие сети мобильной связи и Wi-Fi. В России до настоящего времени еще не решён вопрос выделения конкретных участков радиочастотного спектра для сетей 5G. Согласно Программе «Цифровая экономика Российской Федерации», устойчивое покрытие сетью мобильной связи 5G во всех крупных городах России (с численностью 1 млн человек и более) запланировано к 2024 г.

**Заключение**

Выполненное аналитическое исследование особенностей архитектуры технологии 5G позволяет прогнозировать существенное возрастание воздействия на людей ЭМИ РЧ-диапазона при внедрении сетей пятого поколения мобильной связи, в первую очередь в крупных городах. В условиях формирования сложной ЭМО одной из важнейших задач является разработка мер профилактики неблагоприятного воздействия ЭМП на население и прежде всего гигиенических нормативов ЭМП РЧ-диапазона, создаваемых средствами мобильной радиосвязи. Сегодня перед гигиенической наукой стоят новые задачи по разработке теории гигиенического нормирования ЭМП РЧ-диапазона в условиях сложной ЭМО, единых методических подходов к обоснованию гигиенических нормативов ЭМП РЧ-диапазона. Необходима разработка методических вопросов измерения и расчётного прогнозирования уровней ЭМП, учитывающих технологии 5G. Указанные задачи могут успешно решаться только при конструктивном сотрудничестве гигиенического научного сообщества и специалистов отрасли связи и цифровых технологий. Перечисленные задачи не охватывают весь спектр проблем в обеспечении электромагнитной безопасности населения.

## Литература

(п.п. 14, 16–19 см. References)

1. Подорожный А.М. Развитие сотовой мобильной связи: от 1G до 5G. В кн.: *Материалы Первой национальной научно-практической конференции «Современное научное знание в условиях системных изменений»*. Омск; 2016: 219–24.
2. Черкасова Н.В., Соколов С.С. Обзор поколений сотовой связи и защита информации для современных мобильных устройств с помощью приборов-подавителей сигнала. *Новая наука: проблемы и перспективы*. 2016; (2–1): 202–5.
3. Гриневич Ю.А., Кетрарь М.В. Анализ состояния и тенденций развития рынка сотовой связи в России. *Современные научные исследования и разработки*. 2018; 2(5): 177–80.
4. Бедирханова С.Р. Анализ и оценка состояния и тенденций развития рынка сотовой связи России (2018–2019 годы). В кн.: *Материалы международной научно-практической конференции «Наука сегодня: вызовы и решения»*. Вологда; 2019: 41–4.
5. Бородин А.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики. *Электросвязь*. 2017; (5): 45–9.
6. Луценко Л.А., Гвоздева Л.Л., Турдыев Р.В. Вопросы гигиенической безопасности при размещении и введении в эксплуатацию базовых станций сотовой связи. *Медицина труда и экология человека*. 2019; (1): 11–5. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10002>
7. Кордюков Н.М. Оптимизация контроля за электромагнитными полями от базовых станций сотовой связи. В кн.: *Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Профилактическая медицина-2020»*. СПб.; 2020: 212–7.
8. Высотин С.А., Сайфитова А.Т., Рязанова Е.А. Гигиеническое значение электромагнитного излучения от базовых станций сотовой связи. *Международный студенческий научный вестник*. 2019; (5–1): 9–16.
9. Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М., Сподобаев М.Ю. Электромагнитная безопасность: критические характеристики сетей 5G. *Электросвязь*. 2019; (4): 53–8.
10. Никифорова Е.В., Безухова П.О. Применение технологии MASSIVE MIMO в сетях 5G. *Теория и практика современной науки*. 2019; (3): 214–6.
11. Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М., Сподобаев М.Ю. Обоснование предметной области электромагнитной безопасности. *Электросвязь*. 2018; (11): 63–7.
12. Фокин Г.А., Кучерявый А.Е. Сетевое позиционирование в экосистеме 5G. *Электросвязь*. 2020; (9): 51–8. <https://doi.org/10.34832/ELSV.2020.10.9.006>
13. Волков А.Н., Кучерявый А.Е. Идентификация трафика сервисов в сетях связи IMT-2020 и последующего поколения на основе метаданных потоков и алгоритмов машинного обучения. *Электросвязь*. 2020; (11): 21–8.
15. Кадыр Э.А., Шамсуддин С.М., Рахман Т.А., Исмаил А.С. Большие данные: архитектура сети и технологии 5G. *Беспроводные технологии*. 2016; (2): 54–8.
20. Кандуров А. ГКРЧ-2020: 5 G, спутниковый интернет IoT. *Электросвязь*. 2020; (12): 4–8.

## References

1. Podorozhnyy A.M. Development of cellular mobile communication: from 1G to 5G. In: *Materials of the First National Scientific and Practical Conference «Modern Scientific Knowledge in the Context of Systemic Changes» [Materialy Pervoy national'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennoe nauchnoe znanie v usloviyakh sistemnykh izmeneniy»]*. Omsk; 2016: 219–24. (in Russian)
2. Cherkasova N.V., Sokolov S.S. Overview of the cellular communication generations and protection of information for the present mobile devices using devices-suppressors of signal. *Novaya nauka: problemy i perspektivy*. 2016; (2–1): 202–5. (in Russian)
3. Grinevich Yu.A., Ketrar' M.V. Analysis of the state and trends in the Russian mobile market. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki*. 2018; 2(5): 177–80. (in Russian)
4. Bedirhanova S.R. Analysis and assessment of the state and trends in the development of the Russian cellular market (2018–2019). In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Science Today: Challenges and Solutions» [Materialy mezhndunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Наука segodnya: vyzovy i resheniya»]*. Vologda; 2019: 41–4. (in Russian)
5. Borodin A.S., Kucheryavyy A.E. Fifth generation networks as a base to the digital economy. *Elektrosvyaz'*. 2017; (5): 45–9. (in Russian)
6. Lutsenko L.A., Gvozdeva L.L., Turdyev R.V. Questions of hygienic safety in the placement and commissioning of cellular base stations. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2019; (1): 11–5. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10002> (in Russian)
7. Kordyukov N.M. Optimization of control over electromagnetic fields from cellular communication base stations. In: *Collection of Scientific Papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation «Preventive Medicine-2020» [Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhndunarodnym uchastiem «Profilakticheskaya meditsina-2020»]*. St. Petersburg; 2020: 212–7. (in Russian)
8. Vysotin S.A., Sayfitova A.T., Ryzanova E.A. Hygienic value of electromagnetic izluyeniya from base stations of cellular communication. *Mezhndunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*. 2019; (5–1): 9–16. (in Russian)
9. Maslov M.Yu., Spodobayev Yu.M., Spodobayev M.Yu. Electromagnetic safety: critical features of 5G networks. *Elektrosvyaz'*. 2019; (4): 53–8. (in Russian)
10. Nikiforova E.V., Bezukhova P.O. Application of the Massive MIMO technology in 5G networks. *Teoriya i praktika sovremennoy nauki*. 2019; (3): 214–6. (in Russian)
11. Maslov M.Yu., Spodobayev Yu.M., Spodobayev M.Yu. Justification of subject area of electromagnetic safety. *Elektrosvyaz'*. 2018; (11): 63–7. (in Russian)
12. Fokin G.A., Kucheryavyy A.E. Network positioning in 5G ecosystem. *Elektrosvyaz'*. 2020; (9): 51–7. (in Russian)
13. Volkov A.N., Kucheryavyy A.E. Identification of service traffic in IMT-2020 and subsequent generation communication networks based on flow metadata and machine learning algorithms. *Elektrosvyaz'*. 2020; (11): 21–8. (in Russian)
14. Rauniyar A., Engelstad P., Østerbo O.N. RF energy harvesting and information transmission based on NOMA for wireless powered IoT relay systems. *Sensors* (Basel). 2018; 18(10): 3254. <https://doi.org/10.3390/s18103254>
15. Kadyr E.A., Shamsuddin S.M., Rakhman T.A., Ismail A.S. Big data: network architecture and 5G technologies. *Besprovodnye tekhnologii*. 2016; (2): 54–8. (in Russian)
16. Storck C.R., Duarte-Figueiredo F. A 5G V2X ecosystem providing internet of vehicles. *Sensors*. 2019; 19(3): 550. <https://doi.org/10.3390/s19030550>
17. Hardell L., Nyberg R. Appeals that matter or not on a moratorium on the deployment of the fifth generation, 5G, for microwave radiation. *Mol. Clin. Oncol.* 2020; 12(3): 247–57. <https://doi.org/10.3892/mco.2020.1984>
18. Russell C.L. 5G wireless telecommunications expansion: Public health and environmental implications. *Environ. Res.* 2018; 165: 484–95. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.016>
19. Bienkowski P., Zmyslony M., Karpowicz J., Politański P., Bortkiewicz A., Kieliszek J., et al. Conditionings of population exposure to electromagnetic fields associated with the rational use of 5G radiocommunication networks in Poland. *Med. Pr.* 2020; 71(2): 245–53. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.0092> (in Polish)
20. Kantsurov A. State commission on radio frequencies-2020: 5G, satellite internet IoT. *Elektrosvyaz'*. 2020; (12): 4–8. (in Russian)