



Калинина Н.И., Дубровская Е.Н., Костина К.Е.

Гигиеническая оценка электромагнитных полей, создаваемых базовыми станциями в помещениях общественных зданий

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В общественных зданиях для обеспечения качества мобильной связи размещают базовые станции (БС) с внутренними (*indoor*) антеннами, формирующими электромагнитный фон в помещениях. Существует устойчивая тенденция приближения излучающей техники непосредственно к человеку, резко увеличивается численность населения, вынужденного контактировать с электромагнитными полями радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ), что определяет актуальность гигиенической оценки электромагнитной обстановки в различных общественных зданиях.

Материалы и методы. Изучены способы организации мобильной связи, технические характеристики и режимы работы оборудования, места размещения антенн. Проведены инструментальные измерения и гигиеническая оценка ЭМП РЧ, создаваемых внутренними антennами базовых станций.

Результаты. Измерения ЭМП РЧ от антенн базовых станций сотовых операторов ПАО «Мегафон», ПАО «МТС», ПАО «ВымпелКом», ООО «T2 Мобайл» выполнены в помещениях торговых центров и административных зданий. Инструментальные измерения (в отсутствие посетителей) не выявили превышения ПДУ 10 мкВт/см^2 для диапазона 0,3–300 ГГц.

Ограничения исследования. Представлены результаты исследования электромагнитной обстановки в шести торговых комплексах и административных зданиях.

Заключение. ЭМП РЧ в помещениях, как и электромагнитные поля, создаваемые антennами РЭС на открытых территориях, являются фактором вынужденного риска для здоровья населения. Превышения предельно допустимых уровней при измерениях мы не обнаружили, тем не менее необходимо разработать методические подходы к определению уровней ЭМП, создаваемых радиоэлектронными средствами в общественных зданиях.

Ключевые слова: электромагнитные поля радиочастотного диапазона; базовые станции; внутренние антennы; электромагнитная обстановка

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует заключения по биомедицинской этике, поскольку является результатом обобщения многолетнего труда научных работников в данном направлении.

Для цитирования: Калинина Н.И., Дубровская Е.Н., Костина К.Е. Гигиеническая оценка электромагнитных полей, создаваемых базовыми станциями в помещениях общественных зданий. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(8): 961–965. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-8-961-965> <https://elibrary.ru/qbatsw>

Для корреспонденции: Калинина Нина Ивановна, e-mail: n.kalinina@s-znc.ru

Участие авторов: Калинина Н.И. – концепция и дизайн исследования, анализ данных, написание текста, редактирование; Дубровская Е.Н. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Костина К.Е. – редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 25.04.2025 / Поступила после доработки: 04.06.2025 / Принята к печати: 26.06.2025 / Опубликована: 25.09.2025

Nina I. Kalinina, Ekaterina N. Dubrovskaya, Kseniya E. Kostina

Hygienic assessment of electromagnetic fields generated by base stations in public buildings

NorthWest Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. To ensure high-quality mobile communications, base stations (BS) with indoor ones are located in public buildings antennas, which forms the electromagnetic background in the rooms. There is a steady tendency for radiating technology to approach humans directly, and the number of people forced to come into contact with electromagnetic fields (EMF) in the radio frequency (RF) range is sharply increasing, and consideration of these issues is highly relevant. The article presents the results of a hygienic study of the electromagnetic environment in various public buildings.

Material and methods. The methods of managing mobile communications, the composition and technical characteristics, operating modes of equipment, and antenna locations were studied. Instrumental measurements and hygienic assessment of the RF EMF generated by the internal antennas of the base stations were carried out.

Results. Measurements of RF EMF levels were carried out from the antennas of base stations of mobile operators Megafon PJSC, MTS PJSC, VimpelCom PJSC, T2 Mobile LLC at the stage of commissioning and located in the premises of shopping malls and administrative buildings. Instrumental measurements (in the absence of visitors) revealed no excess of the EMF maximum permissible level of 10 MW/cm^2 for the 0.3–300 GHz range.

Limitations. The results of a study of the electromagnetic environment in six buildings of shopping malls and administrative buildings are presented.

Conclusion. RF EMF in the premises, as well as electromagnetic fields created by the antennas of the distribution zone in open areas, are a factor of forced risk to public health. Despite the fact that no exceedances of the maximum permissible levels were recorded during measurements, it was concluded that it was necessary to develop methodological approaches to measuring the levels of electromagnetic fields created by radio-electronic means of modern information technologies in public buildings.

Keywords: electromagnetic fields of the radio frequency range; base stations; internal antennas; electromagnetic environment

Compliance with ethical standards. The study does not require a conclusion on biomedical ethics, since it is the result of generalization of many years of work of scientists in this direction.

For citation: Kalinina N.I., Dubrovskaya E.N., Kostina K.E. Hygienic assessment of electromagnetic fields generated by base stations in public buildings. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(8): 961–965. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-8-961-965> <https://elibrary.ru/qbatsw> (In Russ.)

For correspondence: Nina I. Kalinina, e-mail: n.kalinina@s-znc.ru

Contribution: Kalinina N.I. – the concept and design of the study, data analysis, writing a text, editing; Dubrovskaya E.N. – the concept and design of the study, editing; Kostina K.E. – editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Funding. The study had no sponsorship.

Received: April 25, 2025 / Revised: June 4, 2025 / Accepted: June 26, 2025 / Published: September 25, 2025

Введение

Базовые станции (БС) систем сотовой связи – это стационарно размещаемые комплексы, обеспечивающие связь между абонентскими терминалами и системой сотовой связи. БС излучают электромагнитную энергию в определённом диапазоне частот¹. Наряду со стационарными БС на территории Российской Федерации действуют и передвижные базовые станции [1]. С точки зрения влияния на население оборудование БС является наиболее массовым источником электромагнитного излучения. Каждые 10 лет внедряется новое поколение сотовой связи (2G, 3G, 4G). В общественных зданиях для обеспечения качества мобильной связи размещают БС с внутренними (indoor) антеннами, что формирует электромагнитный фон в помещениях и изменяет физические параметры среды обитания человека.

Отечественные публикации носят технический характер и касаются в основном организации мобильной связи и проблемы электромагнитной совместимости технических средств [2–4]. Зарубежные литературные источники сообщают об исследованиях электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) в офисах, больницах, отелях, библиотеках, торговых центрах, университетах [5, 6].

Поскольку постоянно разрабатываются новые излучающие технические средства, усложняется и модернизируется существующее оборудование, к сложным инженерным системам и комплексным системам автоматизации многофункциональных торговых и досуговых центров добавляется оборудование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). В связи с этим излучающая техника приближается непосредственно к людям, и они вынуждены постоянно контактировать с ЭМП РЧ.

Цель работы – исследование электромагнитной обстановки в общественных зданиях для совершенствования санитарно-эпидемиологического надзора за источниками электромагнитных полей. Задачи исследования: изучить способы организации мобильной связи, провести измерения уровней ЭМП РЧ, создаваемых внутренними антennами БС

в общественных зданиях различного назначения, для разработки методических подходов к измерению ЭМП современных радиоэлектронных средств (РЭС) внутри зданий.

Материалы и методы

Выполнены гигиенические исследования электромагнитной обстановки в девяти зданиях торговых комплексов и административных зданиях. Выбранные общественные здания различаются назначением, этажностью, числом установленных антенн БС сотовой связи и применяемыми стандартами сотовой связи. Исследованию предшествовал анализ проектных материалов на размещение БС и санитарного законодательства, устанавливающего требования к размещению РЭС и гигиенические нормативы ЭМП РЧ в общественных зданиях. На каждом объекте изучали распространённость стандартов сотовой связи, принцип организации мобильной связи, параметры БС, характеристики и режимы работы оборудования, условия размещения антенн, проводили выбор места и точек измерений. Уровни ЭМП РЧ диапазона, создаваемых внутренними антennами БС в помещениях, регистрировали при вводе в эксплуатацию радиоэлектронных средств связи в дневное время. Использовали измерители электромагнитных излучений (ЭМИ) П3-42, П3-41, которые располагали на различных расстояниях от источников на высоте 0,5–2 м от поверхности пола. В этих пределах определяли высоту, на которой регистрируется наибольшая интенсивность ЭМП. Во время измерений обеспечивали постоянную работу излучающих средств. Условия измерений (температура, влажность воздуха) контролировали с помощью метеометра МЭС-200А. Измерительная аппаратура соответствовала требованиям Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ². Средства измерения (СИ) включены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Результаты оценивали на соответствие требованиям СанПиН 1.2.3685–21³. Выполненное исследование электромагнитной обстановки в общественных зданиях с инструментальными измерениями ЭМП РЧ является пилотным.

² Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изм. на 11 июня 2021 г.).

³ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (с изм. на 30 декабря 2022 г.).

Таблица 1 / Table 1

Уровни плотности потока энергии от антенн базовых станций в зданиях торговых комплексов
Levels of the energy flow density (EFD) from base station antennas in shopping mall buildings

Место Location	Точка измерения Description of the measuring point	Высота установки антенн от уровня пола, м Antenna installation height from floor level, m	Расстояние до источника, м Distance to the source, m	Измеренные значения ППЭ ЭМП, мкВт/см ² Measured values of PPE EMF, MW/cm ²
Торговый комплекс № 1 Shopping complex No. 1	На 1-м этаже (лестничная площадка) On the ground floor (landing)	6.0	4.0	0.26 – 0.26
	На 2-м этаже (коридор) On the 1 st floor (corridor)	6.0	4.0	0.26 – 0.45
	На 3-м этаже (коридор) On the 2 nd floor (corridor)	6.0	4.0	0.26 – 1.29
Торговый комплекс № 2 Shopping complex No. 2	На минус 1-м этаже (торговый зал магазина) On the first basement floor (the store's sales area)	5.0	3.0	1.68 – 2.34
	На 1-м этаже (коридор) On the ground floor (corridor)	5.0	3.0	0.56 – 2.05
	На 2-м этаже (коридор) On the 1 st floor (corridor)	5.0	3.0	0.79 – 3.59
	На 3-м этаже (обеденный зал кафе) On the 2 nd floor (cafe dining room)	5.0	3.0	0.98 – 2.12
	На 4-м этаже (торговый зал магазина) On the 3 rd floor (the store's sales area)	5.0	3.0	2.78 – 3.21
	На 5-м этаже (коридор) On the 4 th floor (corridor)	5.0	3.0	2.37 – 3.68
Торговый комплекс № 3 Shopping complex No. 3	На 1-м этаже (торговый зал магазина) On the ground floor (the store's sales area)	3.0	1.0	0.62 – 2.69
	На 2-м этаже (коридор) On the 1 st floor (corridor)	3.0	1.0	0.58 – 3.51
	На 3-м этаже (лестничная площадка) On the 2 nd floor (landing)	3.0	1.0	0.68 – 4.08

Таблица 2 / Table 2

Уровни плотности потока энергии от антенн базовых станций в административных зданиях

Levels of the energy flow density from base station antennas in administrative buildings

Место Location	Точка измерения Description of the measuring point	Высота установки антенн от уровня пола, м Antenna installation height from floor level, m	Расстояние до источника, м Distance to the source, m	Измеренные значения ППЭ ЭМП, мкВт/см ² Measured values of PPE EMF, MW/cm ²
Административное здание № 1 Administrative building No. 1	На 1-м этаже (коридор) On the ground floor (corridor)	3.0	1.0	0.26 – 0.61
	На 6-м этаже (коридор) On the 5 th floor (corridor)	3.0	1.0	0.46 – 3.16
	На 9-м этаже (холл) On the 8 th floor (hall)	3.0	1.0	0.26 – 0.71
	На 14-м этаже (коридор) On the 13 th floor (corridor)	3.0	1.0	0.71 – 3.01
	На 20-м этаже (коридор) On the 19 th floor (corridor)	3.0	1.0	0.38 – 2.03
Административное здание № 2 Administrative Building No. 2	На минус 1-м этаже (парковка) On the first basement floor (parking)	3.5	1.5	0.37 – 0.81
	На 3-м этаже (коридор) On the 2 nd floor (corridor)	3.5	1.5	0.74 – 3.43
	На 8-м этаже (коридор) On the 7 th floor (corridor)	7	1.5	0.54 – 0.92
	На 14-м этаже (коридор) On the 13 th floor (corridor)	3.5	1.5	1.16 – 3.01
	На 17-м этаже (лестничная площадка) On the 16 th floor (landing)	3.5	1.5	0.69 – 0.83
Административное здание № 3 Administrative Building No. 3	На 1-м этаже (коридор) On the ground floor (corridor)	3.0	1.0	0.26 – 0.55
	На 2-м этаже (коридор) On the 1 st floor (corridor)	3.0	1.0	0.43 – 1.04
	На 3-м этаже (коридор) On the 2 nd floor (corridor)	3.0	1.0	0.94 – 1.57
	На 4-м этаже (коридор) On the 3 rd floor (corridor)	3.0	1.0	0.82 – 1.68
	На 5-м этаже (коридор) On the 4 th floor (corridor)	3.0	1.0	1.07 – 2.24

Результаты

Внутри зданий находится технологическое оборудование, принимающее сигнал по коаксиальному кабелю от установленных на кровле зданий внешних антенн БС сотовых операторов, организована последовательная схема поэтажного распределения радиосигнала на внутренние антенны БС. Антенны размещаются либо на всех этажах, либо на отдельных этажах зданий, в том числе подземных. Высота установки антенн – 3–6 м от уровня пола. Представлены внутренние антенны базовых станций сотовых операторов ПАО «Мегафон», ПАО «МТС», ПАО «ВымпелКом», ООО «Т2 Мобайл». Все передатчики БС работали в одном нормируемом диапазоне 0,3–300 ГГц. Используемые стандарты цифровой сотовой системы связи в диапазонах частот GSM-900 (935–960 МГц), DCS-1800 (1805–1880 МГц), LTE-1800 (1805–1880 МГц), UMTS-2100 (2110–2170 МГц), LTE-2600 (2650–2690 МГц). Мощность передатчиков для каждого стандарта сотовой связи – от 1 до 40 Вт, типы модуляции – GMSK, QPSK, OFDM. Применяют два типа антенн: всенаправленные с круговой диаграммой, как правило, размещённые за подвесным потолком, и секторные на боковых стенах в коридорах. Антенны имеют разные коэффициенты усиления (от 2,15 до 9,85 дБи), что оказывает влияние на интенсивность излучаемого радиосигнала. Мощность на входе различных типов антенн (TongYu TQI-700/2700-SJ-01, Kathrein, TDI-702706-SJ11 и др.) составила от 0,2 до 4,09 Вт.

В торговых комплексах антенны установлены в коридорах, на лестничных площадках зданий, в торговых залах магазинов и помещениях кафе. Количество антенн – от 12 до 55 в зависимости от этажности разных зданий.

В табл. 1 приведены выборочные результаты измерения уровней плотности потока энергии (ППЭ) ЭМП РЧ диапазона, создаваемых внутренними антennами базовых станций в трёх зданиях торговых комплексов.

В административных зданиях антенны БС установлены в коридорах, холлах, на лестничных площадках и подземных парковках. Количество внутренних антенн – от 60 до 120. В табл. 2 представлены результаты измеренных уровней электромагнитных полей радиочастотного диапазона в нескольких административных зданиях.

Обсуждение

Представленные в настоящей работе измерения излучения РЭС различных типов являются пилотным исследованием, позволяющим судить об электромагнитной обстановке в общественных зданиях. Изучена фактическая электромагнитная обстановка в зданиях разного назначения. На объектах определены основные источники ЭМП РЧ – внутренние антенны, изучены их характеристики, выполнен анализ полученных данных и сопоставление с действующими нормативными требованиями. Установлено, что эксплуатируется оборудование одного или нескольких операторов цифровой сотовой системы связи с различными характеристиками по мощности, типам антенн, высоте установки. В зданиях торговых комплексов и административных зданиях внутренние антенны БС размещаются на всех этажах, включая подземные, на разных расстояниях от поверхности пола.

При размещении и эксплуатации базовых станций в общественных зданиях одновременно используют различные стандарты нескольких операторов сотовой связи. Технологии сотовой связи поколения 2G имеют 100%-е радиопокрытие как в зданиях торговых комплексов, так и в административных зданиях, являются основой для обеспечения беспроводной связи в общественных местах, что свидетельствует о повсеместной доступности стандартов GSM-900 и DCS-1800. Лучше всего поддерживается во всех зданиях стандарт DCS-1800, что обусловлено его универсальностью и широким распространением. Стандарт GSM-900 встречается реже.

Технологии сотовой связи третьего поколения 3G (стандарт UMTS-2100) чаще используют в зданиях торговых комплексов (83% от общего количества) и только в 38% административных зданий. В то же время более современные технологии 4G (стандарты LTE-1800, LTE-2600) представлены во всех административных зданиях и менее распространены в торговых комплексах. В общественных зданиях применяются сочетания различных поколений сотовой связи: могут быть одновременно развернуты все три поколения связи (2G, 3G и 4G) либо преобладать комбинация поколений 2G и 4G. Разница в распространённости стандартов связана, очевидно, также с различными требованиями к радиопокрытию и нагрузке на сети в этих типах зданий.

Измерения уровней ЭМП позволяют оценить сложную электромагнитную обстановку, формируемую излучениями различных стандартов мобильной связи, каждый из которых характеризуется уникальными особенностями модуляции радиосигналов. Инструментальные измерения, проведённые в период ввода радиотехнического оборудования в эксплуатацию (в отсутствие посетителей), не зафиксировали превышений ПДУ ППЭ = 10 мВт/см² для диапазона 0,3–300 ГГц. Максимальные измеренные значения колебались в пределах 3–4 мВт/см².

При проведении измерений расстояния от антенны БС до антенны средства измерения не были одинаковыми из-за особенностей размещения излучающего оборудования в обследованных зданиях. В то же время наблюдалась значительная вариабельность уровней излучения на одинаковом расстоянии от внутренних антенн, что может быть связано с различной мощностью на входе антенн разных стандартов сотовой связи. Анализ возможных вариантов размещения внутренних антенн и оценка облучения на различных дистанциях от источника излучения демонстрируют наличие выраженных градиентов поля, обусловленных особенностями распространения радиоволн в условиях ограниченных пространств.

Необходимо отметить малое количество опубликованных отечественных работ с результатами измерения ЭМП в зонах пребывания населения в общественных зданиях. Имеющиеся публикации по оценке электромагнитной обстановки носят технический характер. Стабильная мобильная связь является производственной необходимостью в общественных зданиях. Так, в торговых центрах она обеспечивает бесперебойную работу банкоматов и терминалов, оплату покупок, оповещение сотрудников и покупателей при возникновении форс-мажорных ситуаций, поиск людей в случае чрезвычайных ситуаций, обеспечение комфортных условий для покупателей и сотрудников [7]. Подчёркивается, что условия распространения радиоволн, создаваемых радиоэлектронными средствами в помещениях, существенно отличаются от условий на открытой территории. Электромагнитная обстановка в зданиях определяется способом организации мобильной связи и размещением источников ЭМП. Приём радиосигналов внутри больших зданий и сооружений часто бывает затруднён из-за особенностей конструкции зданий и инженерных коммуникаций. Наличие внутри здания стен, перегородок, мебели, оборудования создаёт среду многолучевого распространения радиоволн, дифракции и рассеяния [8–13].

В литературных источниках отмечается, что при организации indoor-покрытия в помещениях требуется принимать в расчёт площадь, зоны преимущественного радиопокрытия, количество операторов мобильной связи, возможность изменения размещения радиооборудования в будущем. Конфигурация антенной системы должна обеспечивать безвредность воздействия ЭМИ на людей, электромагнитную совместимость технических средств, надёжное радиопокрытие во всех помещениях, в том числе в подвалах, на технических этажах и подземных паркингах. Большое число пользователей сотовой связи на ограниченной территории требует и большей пропускной способности, что приводит к увеличению концентрации базовых станций. Особенную важность приобретает цифровая мобильная сеть внутри помещений с появлением технологии 5G [14–17].

В зарубежных литературных источниках сообщается, что для измерения ЭМП РЧ в помещениях применяют как ча-

стотно-избирательные, так и широкополосные устройства. Результаты измерений в торговых центрах различных стран показали отсутствие превышения нормативов, установленных Международной комиссией по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP) и национальными стандартами. В то же время авторы исследований отмечают, что воздействие радиочастотных электромагнитных полей в общественных местах постоянно усиливается благодаря современной коммуникационной инфраструктуре и беспроводным потребительским устройствам (сети 4-го поколения, малогабаритные беспроводные датчики, сети мониторинга и доступа) [18–20].

Ограничения исследования. Представлены результаты исследования электромагнитной обстановки в шести зданиях торговых комплексов и административных зданиях.

Заключение

Представленная работа посвящена изучению электромагнитной обстановки, создаваемой внутренними антennами – источниками ЭМП РЧ, в общественных зданиях. Актуальность исследования обусловлена максимальным приближением источников электромагнитных полей к человеку, широким использованием информационно-коммуникационных технологий, повсеместным распространением электромагнитного фактора и его потенциальным биологическим воздействием. ЭМП РЧ в помещениях, как и электромагнитные поля, создаваемые антennами РЭС на открытых территориях, являются фактором вынужденного риска для здоровья населения. В контексте повсеместного расширения сети БС в общественных зданиях углублённое изучение электромагнитного фона приобретает особую значимость с точки зрения гигиенической безопасности. В связи с этим необходимо совершенствовать существующие методы оценки электромагнитной безопасности в условиях сложной электромагнитной обстановки, характерной для современных общественных зданий. Необходимо учитывать не только суммарную интенсивность ЭМП, но и частотный спектр, модуляцию сигналов, пространственное распределение поля в местах пребывания людей.

Проведённые исследования позволили сделать вывод о необходимости разработки методических подходов к измерению уровней ЭМП, создаваемых радиоэлектронными средствами современных информационных технологий, в общественных зданиях. Инструментальные измерения с использованием современного оборудования следует сочетать с математическим моделированием распространения электромагнитных волн в помещениях. Важно учитывать конструкцию здания, материалы стен и перекрытий, расположение источников ЭМП. Кроме того, необходимо разрабатывать рекомендации по снижению воздействия ЭМП на население в общественных зданиях путём оптимизации размещения оборудования, использования экранирующих материалов, информирования населения о потенциальных рисках и мерах предосторожности.

Изучение электромагнитной обстановки в общественных зданиях является актуальной задачей, требующей комплексного подхода и междисциплинарного сотрудничества. Результаты таких исследований позволят обеспечить безопасную и комфортную среду обитания, будут способствовать развитию современных информационных технологий без ущерба для здоровья населения.

Литература

1. Оспанов Б.Т., Нестеренко И.С. Передвижная базовая станция на базе Урал-4320. *Cifra. Машиностроение*. 2023; 1(1): 1–6. <https://doi.org/10.18454/ENGIN.2023.1.3> <https://elibRARY.ru/pbgttx>
2. Яковлев А.В. Анализ распределения электромагнитных полей устройств интернета вещей с помощью измерительной системы R&S TS-EMF. *Известия Российской военно-медицинской академии*. 2020; 39 (S3–1): 251–6. <https://elibRARY.ru/skxzsh>
3. Воронин В.В., Осипова Н.Г. Indoor-покрытие общежития. *Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке*. 2021; 1: 154–9. <https://elibRARY.ru/qrhxnu>
4. Литвинов А.В., Зайковский А.В., Замятин А.Ю., Лядова Е.Ф., Яковлев К.В. *Конверсия радиочастотного спектра. Вопросы электромагнитной совместимости*. М.: Сам Полиграфист, 2019. <https://elibRARY.ru/jdvcv>
5. Ashraf M.A., Celik T. Evaluating radiofrequency electromagnetic field exposure in confined spaces: a systematic review of recent studies and future directions. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2024; 200(6): 598–616. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncae045>
6. Da L.A. Silva J., de Sousa V.A. Jr., Rodrigues M.E.C., Pinheiro F.S.R., da Silva G.S., Mendonça H.B., et al. Human exposure to non-ionizing radiation from indoor distributed antenna system: shopping mall measurement analysis. *Sensors (Basel)*. 2023; 23(10): 4579. <https://doi.org/10.3390/s23104579>

7. Мелдана. Усиление сотовой связи в торговом центре. Доступно: <https://meldana.com/blog/dlya-torgovogo-tsentr/usilenie-sotovoy-svyazi-v-torgovom-sentre/>
8. Савочкин А.А., Абдулгазиев О.Р. Принципы организации и работы технологии фемтосотов. *Modern Science*. 2021; (7): 372–7. <https://elibrary.ru/mngfs>
9. Мордачев В.И. Оценка вклада излучений пользовательского оборудования в антропогенный электромагнитный фон, создаваемый системами мобильной (сотовой) связи. *Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники*. 2023; 21(5): 50–8. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-5-50-58>
10. Звездина М.Ю., Кутукова В.Д., Позднякова А.В., Шокова Ю.А. Модели распространения электромагнитных волн внутри помещений. *Научный альманах*. 2016; (7–1): 384–9. <https://doi.org/10.17117/na.2016.07.01.384>
11. Михайлов В.Ю., Омельянчук Е.В., Семенова А.Ю., Котляров Е.Ю. Оценка применимости эмпирических моделей распространения радиоволн внутри помещений для интернета вещей. *Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов*. 2023; 14(5): 31–9. <https://elibrary.ru/nuipaj>
12. Мордачев В.И., Ционенко Д.А. Влияние пространственной избирательности излучений базовых станций мобильной связи на уровень, создаваемый ими электромагнитного фона. *Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники*. 2022; 20(7): 56–64. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-7-56-64>
13. Львович И.Я., Преображенский А.П. Проблемы оценки характеристик распространения электромагнитных волн внутри помещений. В кн.: *Глобализация современных научных исследований. Монография*. Иваново; 2019: 42–8. <https://elibrary.ru/xckgbf>
14. Зайчик Е. Распределенные антенные системы в сетях мобильной связи. *Первая миля*. 2020; (7–8): 54–9. <https://elibrary.ru/esnmy>
15. Bonato M., Dossi L., Chiaramello E., Fiocchi S., Tognola G., Parazzini M. Stochastic dosimetry assessment of the human RF-EMF exposure to 3D beamforming antennas in indoor 5G networks. *Appl. Sci.* 2021; 11(4): 1751. <https://doi.org/10.3390/app11041751>
16. Сагымбайев А.А., Джылышбайев М.Н., Лапенко О.А. Технология покрытия 5G сети внутри помещения. *Инженер: научное и периодическое издание инженерной академии Кыргызской Республики*. 2022; (25): 20–31. <https://elibrary.ru/idxhnf>
17. Рысухин Е.А., Кустова М.Н. Результаты тестирования уровня ЭМИ БС 5G внутри помещений. В кн.: *XXIX Российская научно-техническая конференция. Материалы XXIX Российской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов университета с приглашением ведущих ученых и специалистов родственных вузов и организаций*. Самара; 2022: 36–7. <https://elibrary.ru/uhccgm>
18. Karpowicz J., De Miguel-Bilbao S., Zradzinski P., Gryz K., Falcone F., Ramos V. Comparative study of radiofrequency electromagnetic exposure in the public shopping centers. In: *2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE)*. IEEE; 2018: 972–5. <https://doi.org/10.1109/EMCEurope.2018.8485113>
19. Onishi T., Ikuo M., Tobita K., Liu S., Taki M., Watanabe S. Radiofrequency exposure levels from mobile phone base stations in outdoor environments and an underground shopping mall in Japan. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021; 18(15): 8068. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158068>
20. Celaya-Echarri M., Azpilicueta L., Ramos V., Lopez-Iturri P., Falcone F. Empirical and modeling approach for environmental indoor RF-EMF assessment in complex high-node density scenarios: public shopping malls case study. *IEEE Access*. 2021; 9: 46755–75. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3067852>

References

1. Ospanov B.T., Nesterenko I.S. Mobile base station on the basis of Ural-4320. *Cifra. Mashinostroenie*. 2023; 1(1): 1–6. <https://doi.org/10.18454/ENGIN.2023.1.3>
2. Yakovlev A.V. Analysis of electromagnetic fields distribution of IoT devices using the measuring system R&S TS-EMF. *Izvestiya Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii*. 2020; 39(S3–1): 251–6. <https://elibrary.ru/skxzsh> (in Russian)
3. Voronin V.V., Osipova N.G. Indoor coverage of the FESTU hostel. *Nauchno-tehnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnistvo stran ATR v XXI veke*. 2021; 1: 154–9. <https://elibrary.ru/qrxunu> (in Russian)
4. Litvinov A.V., Zajkovskij A.V., Zamyatin A.Yu., Lyadova E.F., Yakovlev K.V. *Conversion of the Radio Frequency Spectrum. Electromagnetic Compatibility Issues [Konversiya radiochastotnogo spektra. Voprosy elektromagnitnoi sovmestimosti]*. Moscow: Sam Poligrafist; 2019. <https://elibrary.ru/jdvcv> (in Russian)
5. Ashraf M.A., Celik T. Evaluating radiofrequency electromagnetic field exposure in confined spaces: a systematic review of recent studies and future directions. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2024; 200(6): 598–616. <https://doi.org/10.1093/rpd/rnac045>
6. Da L.A. Silva J., de Sousa V.A. Jr., Rodrigues M.E.C., Pinheiro F.S.R., da Silva G.S., Mendonça H.B., et al. Human exposure to non-ionizing radiation from indoor distributed antenna system: shopping mall measurement analysis. *Sensors (Basel)*. 2023; 23(10): 4579. <https://doi.org/10.3390/s23104579>
7. Meldana. Enhanced cellular connectivity in the mall. Available at: <https://meldana.com/blog/dlya-torgovogo-tsentr/usilenie-sotovoy-svyazi-v-torgovom-sentre/> (in Russian)
8. Savochkin A.A., Abdulgaziev O.R., Principles of organization and operation of femtocell technology. *Modern Science*. 2021; (7): 372–7. <https://elibrary.ru/mngfs> (in Russian)
9. Mordachev V.I. Assessment of the contribution of radiations of user equipment to the anthropogenic electromagnetic background created by mobile (cellular) communications. *Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki*. 2023; 21(5): 50–8. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-5-50-58>
10. Zvezdina M.Yu., Kutukova V.D., Pozdnyakova A.V., Shokova Yu.A. Models of indoors wave propagation. *Nauchnyi al'manakh*. 2016; (7–1): 384–9. <https://doi.org/10.17117/na.2016.07.01.384>
11. Mikhailov V.Yu., Omelyanchuk E.V., Semenova A.Yu., Kotlyarov E.Yu. Assessment of the applicability of empirical models of indoor radio wave propagation for the Internet of Things. *Sistemy sinkhronizatsii, formirovaniya i obrabotki signalov*. 2023; 14(5): 31–9. <https://elibrary.ru/nuipaj> (in Russian)
12. Mordachev V.I., Tsyaneva D.A. Influence of spatial selectivity of radiation of mobile communication base stations on the level of electromagnetic background introduced by them. *Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki*. 2022; 20(7): 56–64. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-7-56-64>
13. Lvovich I.Y., Preobrazhenskiy A.P. Problems of estimating the propagation characteristics of electromagnetic waves indoors. In: *The Globalization of Modern Scientific Research [Globalizatsiya sovremennykh nauchnykh issledovaniy]*. Ivanovo; 2019: 42–8. <https://elibrary.ru/xckgbf> (in Russian)
14. Zaichik E. Distributed antenna systems in mobile networks. *Pervaya milya*. 2020; (7–8): 54–9. <https://elibrary.ru/esnmy> (in Russian)
15. Bonato M., Dossi L., Chiaramello E., Fiocchi S., Tognola G., Parazzini M. Stochastic dosimetry assessment of the human RF-EMF exposure to 3D beamforming antennas in indoor 5G networks. *Appl. Sci.* 2021; 11(4): 1751. <https://doi.org/10.3390/app11041751>
16. Sagimbayev A.A., Dzhylышбайев М.Н., Лутсенко О.А. Indoor 5G network coverage technology. *Inzhener: nauchnoe i periodicheskoe izdanie inzhenerov akademii Kyrgyzskoi Respubliki*. 2022; (25): 20–31. <https://elibrary.ru/idxhnf> (in Russian)
17. Ryssuhin E.A., Kustova M.N. The results of testing the levels of EMR BS 5G indoors. In: *XXIX Russian Scientific and Technical Conference. Proceedings of the XXIX Russian Scientific and Technical Conference of the University's Faculty, Researchers and Postgraduates with the Invitation of Leading Scientists and Specialists from Related Universities and Organizations [XXIX Rossiiskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya. Materialy XXIX Rossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii professorskogo-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov universiteta s priglasheniem vedushchikh uchenykh i spetsialistov rodstvennykh vuzov i organizatsii]*. Samara; 2022: 36–7. <https://elibrary.ru/uhccgm> (in Russian)
18. Karpowicz J., De Miguel-Bilbao S., Zradzinski P., Gryz K., Falcone F., Ramos V. Comparative study of radiofrequency electromagnetic exposure in the public shopping centers. In: *2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE)*. IEEE; 2018: 972–5. <https://doi.org/10.1109/EMCEurope.2018.8485113>
19. Onishi T., Ikuo M., Tobita K., Liu S., Taki M., Watanabe S. Radiofrequency exposure levels from mobile phone base stations in outdoor environments and an underground shopping mall in Japan. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021; 18(15): 8068. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158068>
20. Celaya-Echarri M., Azpilicueta L., Ramos V., Lopez-Iturri P., Falcone F. Empirical and modeling approach for environmental indoor RF-EMF assessment in complex high-node density scenarios: public shopping malls case study. *IEEE Access*. 2021; 9: 46755–75. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3067852>

Сведения об авторах

Калинина Нина Ивановна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. изучения электромагнитных излучений отд. физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: n.kalinina@s-znc.ru

Дубровская Екатерина Николаевна, зав. отделением изучения электромагнитных излучений отд. физических факторов, науч. сотр.; ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: nikanorushka@mail.ru

Костина Ксения Евгеньевна, лаборант-исследователь отделения изучения электромагнитных излучений отд. физических факторов; ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: k.kostina@s-znc.ru

Information about authors

Nina I. Kalinina, PhD (Medicine), senior researcher, Department for the study of electromagnetic radiation, Department of physical factors, Northwest Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9475-0176> E-mail: n.kalinina@s-znc.ru

Ekaterina N. Dubrovskaia, researcher, Department for the study of electromagnetic radiation, Department of physical factors, Northwest Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4235-378X> E-mail: nikanorushka@mail.ru

Kseniya E. Kostina, laboratory assistant, researcher, Department for the study of electromagnetic radiation, Department of physical factors, Northwest Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0007-1334-7395> E-mail: k.kostina@s-znc.ru