

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-853-856>

УДК 614.875; 654.165

© Перов С.Ю., Белая О.В., 2020

Перов С.Ю., Белая О.В.

Инструментальная оценка электромагнитных полей, создаваемых базовыми станциями сотовой связи

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, Россия, 105275

Введение. Контроль и обеспечения безопасных условий эксплуатации современных базовых станций для работающих и населения является актуальным с применением методов измерения электромагнитных полей, которые позволяют оценивать вклад различных источников в общий уровень электромагнитного фона с учетом динамических особенностей работы базовых станций и спектральных характеристик электромагнитных полей.

Цель исследования — оценка уровней электромагнитных полей, создаваемых современными базовыми станциями, с помощью широкополосных и селективных методов измерений, а также возможность прогноза наихудших условий экспозиции.

Материалы и методы. Оценивались уровни электромагнитных полей, создаваемые базовыми станциями, работающими по стандарту LTE2600 при максимальной интенсивности трафика передачи данных (лабораторные измерения) и при реальном переменном трафике (натурные измерения). При широкополосных измерениях оценивался общий уровень ППЭ, при селективных измерениях оценивались уровень ППЭ в частотном канале LTE (частотно-селективные измерения) и уровень ППЭ опорного сигнала (кодо-селективные измерения). По максимальному значению опорного сигнала рассчитывался теоретический максимальный уровень ППЭ.

Результаты. При имитации максимальной интенсивности трафика данных уровень ППЭ в канале LTE составил 94,51–101,39% от расчетного значения максимума. По данным натурных измерений значения уровней электромагнитных полей, полученные по результатам частотно-селективных измерений в частотном канале LTE были меньше соответствующих значений, оцененным по результатам широкополосных измерений, и составляли не более 25% от теоретического максимума.

Заключение. Применение селективных средств и методов измерений позволило оценить максимально возможный вклад отдельного источника в общий уровень электромагнитного фона и спрогнозировать наихудшие условия воздействия фактора на человека.

Ключевые слова: электромагнитное поле; радиочастотный диапазон; условия экспозиции человека; мобильные средства связи; базовые станции; селективные измерения

Для цитирования: Перов С.Ю., Белая О.В. Инструментальная оценка электромагнитных полей, создаваемых базовыми станциями сотовой связи. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60(11): 853–856. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-853-856>

Для корреспонденции: Белая Ольга Викторовна, мл. науч. сотр. научно-организационного отдела ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова». E-mail: belaya@iriioh.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 31.08.2020 / Дата принятия к печати: 19.10.2020 / Дата публикации: 03.12.2020

Sergey Yu. Perov, Olga V. Belaya

Instrumental assessment of mobile communication base station electromagnetic field exposure

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, Russia, 105275

Introduction. Monitoring and ensuring safe operating conditions of modern base stations for occupational and general public exposure is relevant with the use of methods for measuring electromagnetic fields, which allow to assess the contribution of different sources to the overall level of the electromagnetic background, taking into account the dynamic features of base stations and the spectral electromagnetic characteristics.

The aim of study is the levels of electromagnetic fields assessment from modern base stations using broadband and selective measurement methods, as well as the possibility of predicting the worst exposure conditions.

Materials and methods. The levels of electromagnetic fields from base stations according to the LTE2600 standard were evaluated at the maximum transmission traffic (laboratory measurements) and at real variable traffic (field measurements). For broadband measurements, the power density (PD) was estimated, for selective measurements, the PD level in the LTE frequency channel (frequency-selective measurements) and the PD level of the reference signal (code-selective measurements) were evaluated. The theoretical maximum PD level was calculated from the maximum value of the reference signal.

Results. When simulating the maximum intensity of data traffic, the PD level in the LTE channel was 94.51–101.39% of the calculated maximum value. According to field measurements, the values of electromagnetic field levels obtained from frequency-selective measurements in the LTE frequency channel were less than the corresponding values estimated from the results of broadband measurements, and were no more than 25% of the theoretical maximum.

Conclusions. The use of selective approach and measurement methods made it possible to estimate the maximum possible contribution of a single source to the overall level of the electromagnetic background and to predict the worst conditions for human exposure.

Keywords: electromagnetic field; radio frequency range; human exposure conditions; mobile communications; base stations; selective measurements

For citation: Perov S.Yu., Belaya O.V. Instrumental assessment of mobile communication base station electromagnetic field exposure. *Med. труда i prom. ekol.* 2020; 60(11): 853–856. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-853-856>

For correspondence: Olga V. Belaya, junior researcher of the scientific and organizational department of Izmerov Research

Institute of Occupational Health. E-mail: belaya@iriioh.ru

Information about authors: Perov S.Yu. <https://orcid.org/0000-0002-6903-4327>Belaya O.V. <https://orcid.org/0000-0003-3937-4950>**Funding.** The study has no funding.**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

Received: 31.08.2020 / Accepted: 19.10.2020 / Published: 03.12.2020

Введение. С непрерывным развитием технологий беспроводной передачи данных и внедрением их в различные сферы профессиональной и бытовой деятельности увеличивается общее количество источников электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП) при усложнении условий их воздействия на человека в зависимости от используемых стандартов цифровой радиосвязи, антенного оборудования, параметров конфигурации сети. На этапе развертывания сетей сотовой связи поколения 5G одновременно с эксплуатацией систем действующих стандартов GSM/DCS, UMTS и LTE актуальной проблемой является оценка условий экспозиции ЭМП, создаваемыми современными базовыми станциями (БС), при контроле и обеспечении безопасных условий эксплуатации таких источников для человека. Ключевым аспектом решения этой проблемы является применение методов оценки ЭМП, позволяющих оценить вклад различных источников в общий уровень электромагнитного фона с учетом динамических особенностей и спектральных характеристик ЭМП при работе БС. С внедрением сетей поколения 5G расширяется частотный диапазон, используемый сотовой связью с 450–2700 МГц, в котором работают системы поколений 2–4G, до 410–7125 МГц и 24,25–52,6 ГГц, а также увеличивается ширина частотного канала с 20 МГц (наибольшая для LTE) до 100–400 МГц. Кроме того, БС сотовой связи отличаются от других передающих радиотехнических объектов (например, радио- и телевидения) существенной временной зависимостью уровней экспозиции ЭМП от интенсивности трафика передачи данных. Для оценки частотно-временных особенностей условий экспозиции ЭМП, создаваемыми БС мобильной связи, используются селективные методы измерений, позволяющие оценивать уровень ЭМП в заданной полосе частот или уровень опорного сигнала для конкретного источника [1, 2]. Применение подобных методов измерений представляется актуальным в развитии и совершенствовании методов оценки ЭМП от БС в отечественной гигиенической практике [3].

Цель исследования — оценка уровней ЭМП, создаваемых современными базовыми станциями, с использованием широкополосных и селективных методов измерений.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись уровни ЭМП, создаваемые БС, работающими по стандарту LTE 2600 FDD с шириной канала 10 МГц. Уровни ЭМП оценивались в различных режимах загрузки БС: максимальная интенсивность трафика передачи данных моделировалась в лабораторных условиях, а реальный переменный трафик передачи данных наблюдался в натурных (полевых) условиях.

Для инструментальной оценки уровней ЭМП использовались широкополосный измеритель параметров электромагнитного поля Narda NBM-550 (NARDA-STS, Германия) и селективный измеритель электромагнитных полей Narda SRM-3006 (NARDA-STS, Германия) с функцией демодуляции стандарта LTE FDD.

При широкополосных измерениях оценивался общий уровень плотности потока энергии (ППЭ) в диапазоне

частот 100 МГц — 60 ГГц. При селективных измерениях оценивались уровень ППЭ в частотном канале LTE (частотно-селективные измерения) и уровень ППЭ опорного сигнала RS (кодо-селективные измерения). По максимальному значению опорного сигнала RS рассчитывался теоретический максимальный уровень ППЭ, создаваемый в точке измерений при полной загрузке базовой станции, по формуле [1]:

$$\text{ППЭ}_{\max} = K_{RS}^{LTE} \cdot \text{ППЭ}_{RS},$$

где $\text{ППЭ}_{\max}$ — максимальный уровень ППЭ для БС стандарта LTE, мкВт/см²;

K_{RS}^{LTE} — коэффициент экстраполяции для стандарта LTE;

ППЭ_{RS} — уровень ППЭ, измеренный для опорного сигнала RS, мкВт/см².

Коэффициент экстраполяции K_{RS}^{LTE} , с помощью которого результаты измерений аппроксимировались до максимально излучаемой мощности, определялся шириной канала LTE и в рамках исследования был равен 600 для 10 МГц [1].

Результаты и обсуждение. В лабораторных условиях при максимальном трафике передачи данных измерения проводились в двух точках, на расстоянии 1 и 2 м от источника. Натурные измерения проводились около антенны БС в трех точках, в вечернее и ночное время. В каждой точке измерений по результатам кодо-селективных измерений в течение 1 минуты определялся максимальный уровень опорного сигнала RS. Результаты частотно-селективных и широкополосных измерений уровней ЭМП были нормированы на расчетное значение теоретического максимального уровня $\text{ППЭ}_{\max}$ для каждой точки.

В лабораторных условиях при имитации максимальной интенсивности трафика данных уровень ППЭ в канале LTE, усредненный за 1 мин, составил 101,39% и 94,51% от расчетной $\text{ППЭ}_{\max}$ в точке 1 и 2 соответственно.

В результате натурных исследований уровней ЭМП вблизи БС в различные часы суток были получены усредненные за 1 мин значения ППЭ, выраженные в % соотношении к расчетному значению $\text{ППЭ}_{\max}$ и представленные в **таблице**. Для частотно-селективных измерений данные приведены по 14 временным интервалам для каждой точки, а для широкополосных — по 10 временным интервалам.

Согласно полученным данным средние, максимальные и минимальные значения уровней ЭМП в каждой рассматриваемой точке, полученные по результатам частотно-селективных измерений в частотном канале LTE были меньше соответствующих значений, оцененным по результатам широкополосных измерений, и составляли не более 25% от теоретического максимума $\text{ППЭ}_{\max}$. Кроме того, наблюдался широкий диапазон значений ППЭ, что соответствовало временной неоднородности трафика передачи данных от базовой станции к абонентам. На рис. пред-

Результаты натурных измерений уровней ЭМП от БС
Results of field measurements of EMF levels from BS

Усредненные значения ППЭ, % от ППЭ _{max}			
Значение	Точка № 1	Точка № 2	Точка № 3
Частотно-селективные измерения			
среднее	7,37	9,22	11,81
максимальное	11,00	18,00	21,55
минимальное	5,31	3,69	5,51
Широкополосные измерения			
среднее	12,17	59,11	21,52
максимальное	20,68	79,29	42,99
минимальное	8,36	43,92	6,05

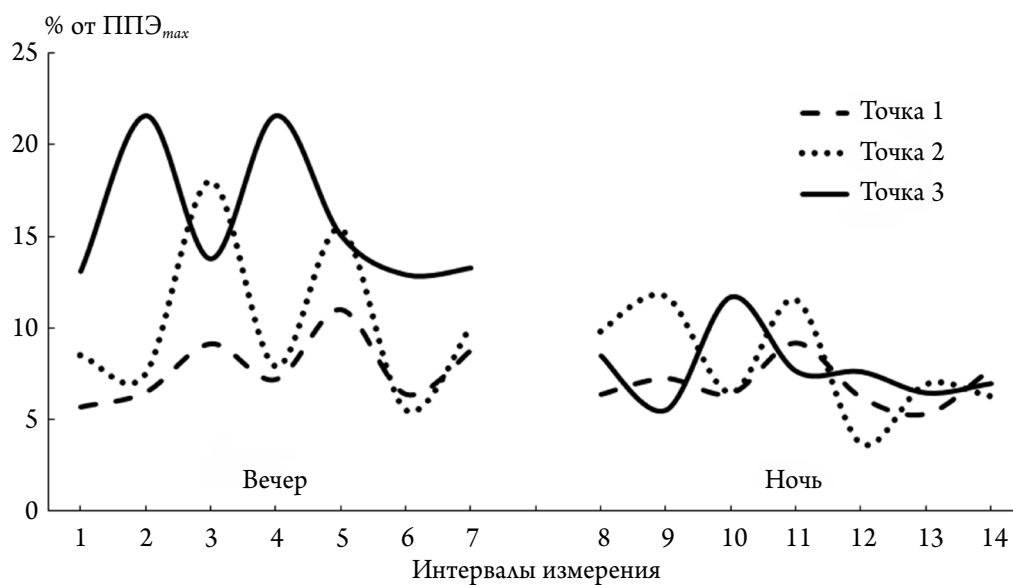


Рисунок. Динамика изменения уровня ППЭ в канале LTE в различные временные интервалы.

Figure. Dynamics of changes in the PD level in the LTE channel in different time intervals.

ставлена динамика изменения уровней ППЭ в различные интервалы в вечернее и ночное время по данным частотно-селективных измерений.

Наибольшая разница уровней ППЭ между вечерними и ночными часами наблюдалась в точке № 3 (рисунок), где значения ППЭ находились соответственно в диапазонах 12,89 — 21,55% и 5,51 — 11,68% от ППЭ_{max}. В точке № 1 и № 2 разница наибольших значений ППЭ в вечернее и ночное время составила 1,82 и 6,28% от ППЭ_{max}.

Заключение. Выполненные исследования ЭМП, создаваемых БС сотовой связи стандарта LTE, как одного из перспективных стандартов связи, были направлены на оценку не только общего уровня электромагнитного фона в данной точке измерений, но и вклада в него отдельного источника с учетом стандарта связи и текущего трафика передачи данных, а также на оценку максимально возможных уровней ЭМП, характерных для данного источника. Результаты

лабораторных измерений показали адекватность расчетных соотношений для оценки наихудших условий экспозиции (максимальной интенсивности трафика передачи данных от БС). Результаты натурных измерений, проведенные в нескольких точках вблизи БС, отражали динамику изменений трафика БС в различные временные интервалы, при этом полученные значения ППЭ в заданном частотном канале не превышали 25% от расчетных значений наихудших условий экспозиции.

Применение селективных средств и методов измерений является важным дополнением при инструментальном контроле условий экспозиции ЭМП от БС сотовой связи, что позволяет оценить максимально возможный вклад отдельного источника в общий уровень электромагнитного фона и спрогнозировать наихудшие условия воздействия фактора на человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEC 62232-2017. *Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure*. Geneva: International Electrotechnical Commission; 2017.
2. Keller H. On the Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Fields Transmitted by 5G NR Base Stations. *Health Phys.* 2019; 117 (5): 541–5. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001089>
3. МУК 4.3.1677–03. *Определение уровней электромагнитного поля, создаваемого излучающими техническими средствами телевидения, ЧМ радиовещания и базовых станций сухопутной подвижной радиосвязи: Методические указания*. Москва: Минздрав России; 2003.

REFERENCES

1. IEC 62232-2017. *Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure*. Geneva: International Electrotechnical Commission; 2017.
 2. Keller H. On the Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Fields Transmitted by 5G NR Base Stations. *Health Phys.* 2019; 117 (5): 541–5. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001089>
 3. МУК 4.3.1677–03. *Determination of electromagnetic field levels created by the radiating technical means of television, FM broadcasting and land mobile radiocommunications base stations: Methodical instructions*. Moscow: Russian Federation Ministry of Health; 2003 (in Russian).
-