

УДК 621.396.218:614.89.086.5

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ФОНА, СОЗДАВАЕМОГО БАЗОВЫМИ СТАНЦИЯМИ И АБОНЕНТСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ СОТОВЫХ РАДИОСЕТЕЙ В МЕСТАХ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

А.С. СВИСТУНОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 25 июня 2018

Аннотация. Выполнены оценки суммарной интенсивности электромагнитного фона, создаваемого базовыми станциями и абонентскими устройствами сотовых радиосетей стандарта GSM на городской территории в местах скопления абонентов в часы наибольшей абонентской нагрузки путем компьютерного моделирования фрагмента сотовой радиосети с применением трехмерной модели распространения радиоволн (X3D-модель) и трехмерной модели фрагмента типовой застройки (на примере г. Минска) при различных высотах подвеса антенн базовых станций и различной пространственной плотности абонентских устройств в активном состоянии функционирования.

Ключевые слова: сотовая связь, базовые станции, мобильные устройства, электромагнитная безопасность, электромагнитный фон.

Abstract. The estimates of the total electromagnetic background intensity created by mobile and base stations of GSM cellular communication networks in urban area in places of subscribers gathering on business hours are made by computer modeling of cellular radionetwork fragment with use of three-dimensional multibeam model of radiowave propagation (X3D model) and three-dimensional model of typical urban area fragment (by example of Minsk) at different base station antenna height and various spatial density of active mobile stations.

Keywords: cellular communication base and mobile stations, electromagnetic safety, electromagnetic background.

Doklady BGUIR. 2018, Vol. 116, No. 6, pp. 26-31

Estimation of electromagnetic background level created by base

and mobile stations of cellular radionetworks in urban area with high density of population

A.S. Svistunov

Введение

В настоящее время в связи массовым потреблением услуг сети сотовой радиосвязи [1] и увеличением пространственной плотности ее оборудования большой интерес представляет вопрос электромагнитной безопасности сотовых радиосетей в местах с высокой плотностью населения, особенно в местах скопления абонентов в часы наибольшей абонентской нагрузки.

Проведенные ранее исследования [2] свидетельствуют о том, что электромагнитные излучения (далее – излучения) абонентских устройств (АУ) в телефонном режиме и в режиме передачи данных в общественных местах городских районов с высокой плотностью населения могут негативно влиять на работу электронных медицинских устройств индивидуального пользования. В соответствии с результатами работы [3] одним из преобладающих по интенсивности сигнала источников излучения, из числа исследуемых, являются базовые станции (БС) сотовых радиосетей. Уровень электромагнитного фона (ЭМФ), создаваемого системами сотовых радиосетей, зависит от обеспечения качества внутрисистемной

электромагнитной совместимости (ЭМС) (от уровней внутрисетевых помех, которые снижают чувствительность радиоприемников и, соответственно, приводят к увеличению мощности излучения БС и АУ для обеспечения необходимого качества связи).

Одним из основных критериев электромагнитной безопасности сотовых радиосетей является предельно допустимый уровень (ПДУ) плотности потока мощности (ППМ) в точке наблюдения (ТН), создаваемого БС и АУ. Данное ограничение имеет различное значение в разных странах [3]. В Республике Беларусь ПДУ ППМ регламентирован на уровне $0,1 \text{ Вт/м}^2$ [4].

Целью данной работы является оценка уровня ЭМФ, создаваемого БС и АУ на территории городской застройки в местах скопления абонентов, в том числе с учетом присутствия внутрисетевых помех, и анализ электромагнитной безопасности сотовых радиосетей для населения в этих условиях.

В работе выполнено моделирование функционирования фрагмента сотовой радиосети стандарта GSM с применением трехмерной многолучевой модели распространения радиоволн Х3D [5] и трехмерной модели фрагмента типовой городской застройки центральной части г. Минска с высотой зданий 6...20 м при расположении АУ на городской территории и близком к регулярному территориальном размещении БС. В результате моделирования получены значения затуханий сигнала при распространении радиоволн (РРВ) от БС, значения требуемых уровней мощности излучения множества АУ в активном состоянии для обеспечения необходимого качества связи и проведена оценка суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого БС и АУ в местах их скопления.

Модели и исходные данные

Модели и исходные данные, используемые при имитационном моделировании фрагмента сотовой радиосети, представлены ниже.

1. Системные параметры моделирования и их значения:

- анализ производится для БС и АУ стандарта GSM-1800;
- пространственная плотность БС ρ_{BS} составляет примерно 3 БС/км²;
- уровень приведенного ко входу приемников (стандарта GSM-1800) собственного шума в полосе радиоприема 200 кГц равен $P_0 = -114 \text{ дБмВт}$;
- качество внутрисистемной ЭМС определяется отношением «несущая/помеха» (C/I). Типовое значение отношения C/I в сетях стандарта GSM составляет 15 дБ по обратному каналу связи [6];

– моделирование выполнено при различных уровнях эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ) БС P_{BS} в пределах 43...58 дБмВт/канал;

– количество дуплексных радиоканалов, приходящихся на сектор БС, равно 7;

– максимальный уровень мощности излучения АУ P_{MS} не превышает 21 дБмВт;

– минимальный уровень мощности излучения АУ P_{MS} в сетях стандарта GSM регламентирован на уровне $0 \pm 5 \text{ дБмВт}$ при функционировании сотовых радиосетей в нормальных условиях [7];

– полезным сигналом, принимаемым АУ, является сигнал преобладающей БС, для которой затухание сигнала при РРВ от БС к АУ является наименьшим;

– тип антенны АУ – всенаправленная с коэффициентом усиления $G_{AMS} = 0 \text{ дБ}$;

– при оценке необходимой мощности излучения АУ коэффициент усиления антенны БС G_{ABS} принят равным 17 дБ;

– высота подвеса антенн БС $H_{BS} = 25...35 \text{ м}$;

– высота АУ над земной поверхностью $H_{MS} = 1,5 \text{ м}$;

– полная плотность пространственного распределения АУ $\rho_P = 2...4 \text{ АУ/м}^2$ в местах скопления абонентов. Принимая во внимание, что абонентская нагрузка в сотовых радиосетях может достигать 0,08 эрл. в часы пик, пространственная плотность АУ ρ_{MS} в активном состоянии составит $0,16...0,32 \text{ АУ/м}^2$;

2. Применена трехмерная модель Х3D многолучевого РРВ [5] в городской застройке. Модель не имеет ограничений для ее использования в принятых условиях. Параметры трехмерной модели РРВ и их значения представлены в [8].

3. Реализована компьютерная модель фрагмента типовой городской застройки центральной части г. Минска со следующими характеристиками: рассматриваемый фрагмент городского участка соответствует территории типа «urban high-rise» [9]; высота зданий – преимущественно 6–20 м; земная поверхность принята плоской; тип покрытия земной поверхности – асфальт; материал стен – кирпич, материал крыш – железобетон.

4. АУ равномерно распределены по рассматриваемой площади территории города. Полная пространственная плотность АУ (ρ_P) и АУ в активном состоянии (ρ_{MS}) указаны выше.

5. Достаточный уровень излучения АУ для обеспечения необходимого качества связи с БС определяется выражением

$$P_{MS} = P_0 - G_{aBS} + L - G_{aMS} + C/I, \quad (1)$$

где P_0 – уровень приведенного ко входу радиоприемника БС собственного шума, дБмВт; L – затухание сигнала при РРВ от БС к АУ, дБ; G_{aBS} – коэффициент усиления антенны БС, дБ; G_{aMS} – коэффициент усиления антенны АУ, дБ; C/I – требуемое отношение «несущая/помеха» на входе радиоприемника БС, дБ.

6. Суммарная интенсивность ЭМФ Π_{Σ} (Вт/м²) [10], усредненная по времени с учетом независимости сигналов, излучаемых различными АУ и БС, определяется как скалярная сумма значений ППМ электромагнитного поля в ТН:

$$\Pi_{\Sigma} = \Pi_{\Sigma BS} + \Pi_{\Sigma MS}; \quad \Pi_{\Sigma BS} = \sum_{i=1}^M \Pi_{BSM}; \quad \Pi_{\Sigma MS} = \sum_{i=1}^N \Pi_{MSN}, \quad (2)$$

где Π_{BS} – значение ППМ излучения БС в ТН, Вт/м²; M – количество БС на рассматриваемой территории городской застройки; Π_{MS} – значение ППМ излучения АУ в ТН, Вт/м²; N – количество АУ на рассматриваемом участке городской территории радиусом R .

7. Сценарии моделирования сотовой радиосети:

– при оценке затуханий сигнала при РРВ от БС к АУ и суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого БС в ТН, рассмотрен сценарий моделирования, представленный на рис. 1, при котором 7 БС имеют на рассматриваемом участке городской застройки близкое к регулярному территориальное размещение со средней пространственной плотностью $\rho_{BS} = 3$ БС/км²;

– для оценки суммарной интенсивности ЭМФ в ТН, который создается множеством источников излучения (АУ в активном состоянии) на городской территории в местах скопления абонентов, использован сценарий моделирования (рис. 2), в котором АУ и ТН на высоте $H_{OP} = 1,5$ м равномерно расположены в окрестности радиуса $R = 5$ м. Минимальное расстояние от ТН до АУ выбрано равным 0,4 м.

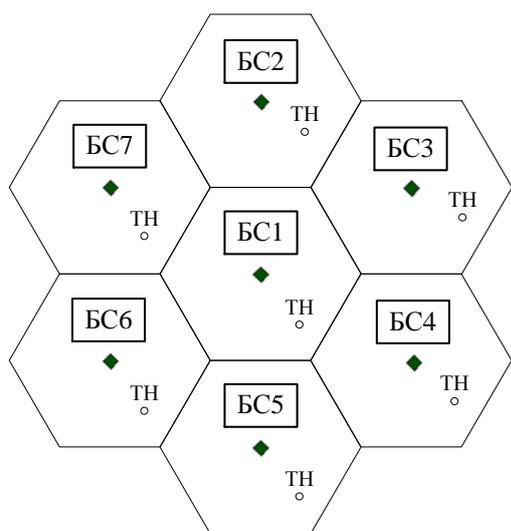


Рис. 1. Сценарий моделирования для оценки суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого БС

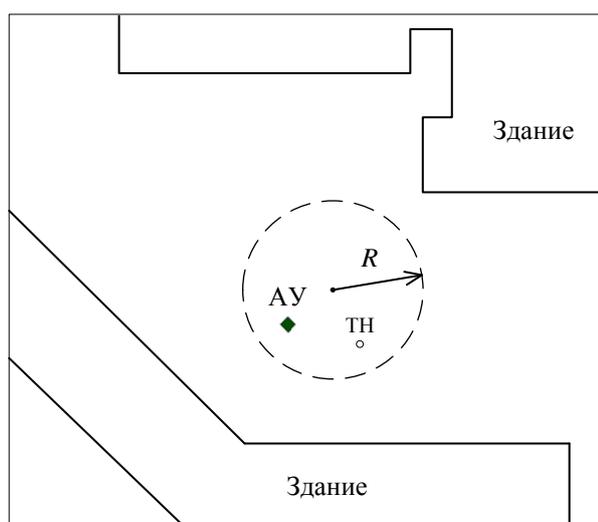


Рис. 2. Сценарий моделирования для оценки суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого множеством АУ в окрестности радиуса R

Результаты моделирования и их обсуждение

В табл. 1 приведены оценки относительного количества АУ на рассматриваемом участке городской территории, уровень мощности излучения P_{MS} которых превышает значение безопасного уровня 17 дБмВт и минимальное значение 0 дБмВт. Значение безопасного уровня мощности излучения АУ получено с учетом требований [11]: уровень ППМ излучения АУ в диапазоне частот 800–2400 МГц на расстоянии 370 мм не должен превышать значения ПДУ, равного 3 мкВт/см².

Таблица 1. Относительное количество АУ, %, уровень мощности излучения P_{MS} которых превышает минимальный и безопасный уровень

Относительное количество АУ, %, уровень мощности излучения P_{MS} которых превышает минимальный и безопасный уровень		
H_{BS} , м	$P_{MS} = 17$ дБмВт	$P_{MS} = 0$ дБмВт
25	0,4	13,5
30	0,2	6,6
35	0,03	3,9

В табл. 2, 3 представлены результаты оценок суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого БС при различной высоте подвеса антенн и канальной ЭИИМ, и АУ в местах скопления абонентов на городской территории в условиях затенения АУ зданиями и в прямой видимости БС. Значения уровней мощности излучения каждого АУ зависят от затуханий сигнала при РРВ.

Таблица 2. Результаты оценок суммарной интенсивности ЭМФ P_{Σ} , создаваемого АУ в активном состоянии, характеризуемых P_{MS} при их различной пространственной плотности ρ_{MS} и БС, характеризуемых P_{BS} при различной высоте подвеса их антенн H_{BS} и ЭИИМ $P_{BS} = 43$ дБмВт/канал

H_{BS} , м	АУ расположены в зоне затенения зданиями			АУ расположены в прямой видимости БС		
	$P_{\Sigma BS}$, дБВт/м ²	$P_{\Sigma MS}$, дБВт/м ²	P_{Σ} , дБВт/м ²	$P_{\Sigma BS}$, дБВт/м ²	$P_{\Sigma MS}$, дБВт/м ²	P_{Σ} , дБВт/м ²
	$\rho_{MS} = 0,32$ АУ/м ²					
25	-90,5...-76,7	-21,2...-11,0	-21,2...-11,0	-27,9...-24,2	-36,8...-29,7	-26,7...-23,5
30	-82,0...-66,6	-30,5...-17,0	-30,5...-17,0	-28,6...-24,8	-36,8...-29,7	-27,7...-24,1
35	-78,0...-57,3	-37,8...-23,5	-37,8...-23,5	-28,1...-26,4	-36,8...-29,7	-27,0...-25,2
$\rho_{MS} = 0,16$ АУ/м ²						
25	-90,5...-76,7	-26,5...-12,1	-26,5...-12,1	-27,9...-24,2	-40,1...-30,3	-28,1...-23,5
30	-82,0...-66,6	-38,7...-25,6	-38,7...-25,6	-28,6...-24,8	-40,1...-30,3	-28,2...-24,1
35	-78,0...-57,3	-42,0...-27,6	-42,0...-27,6	-28,1...-26,4	-40,1...-30,3	-27,6...-25,4

Таблица 3. Результаты оценок суммарной интенсивности ЭМФ P_{Σ} , создаваемого АУ в активном состоянии, характеризуемых P_{MS} при их пространственной плотности $\rho_{MS} = 0,32$ АУ/м² и БС, характеризуемых P_{BS} при различной высоте подвеса их антенн H_{BS} и ЭИИМ $P_{BS} = 53...58$ дБмВт/канал

H_{BS} , м	АУ расположены в зоне затенения зданиями			АУ расположены в прямой видимости БС		
	$P_{\Sigma BS}$, дБВт/м ²	$P_{\Sigma MS}$, дБВт/м ²	P_{Σ} , дБВт/м ²	$P_{\Sigma BS}$, дБВт/м ²	$P_{\Sigma MS}$, дБВт/м ²	P_{Σ} , дБВт/м ²
	$P_{BS} = 53$ дБмВт/канал					
25	-80,5...-66,7	-21,2...-11,0	-21,2...-11,0	-17,9...-14,2	-36,8...-29,7	-17,7...-14,1
30	-72,0...-56,6	-30,5...-17,0	-30,5...-17,0	-18,6...-14,8	-36,8...-29,7	-18,5...-14,7
35	-68,0...-47,3	-37,8...-23,5	-37,5...-23,5	-18,1...-16,4	-36,8...-29,7	-18,0...-16,3
$P_{BS} = 58$ дБмВт/канал						
25	-75,5...-61,7	-21,2...-11,0	-21,2...-11,0	-12,9...-9,2	-36,8...-29,7	-12,8...-9,1
30	-67,0...-51,6	-30,5...-17,0	-30,5...-17,0	-13,6...-9,8	-36,8...-29,7	-13,6...-9,8
35	-63,0...-42,3	-37,8...-23,5	-37,4...-23,4	-13,1...-11,4	-36,8...-29,7	-13,0...-11,4

Результаты, полученные на основе моделирования сотовой радиосети, хорошо согласуются с результатами, полученными на основе методики, разработанной в [10], при сценарии, рассмотренном в [12]. Анализ полученных результатов, представленных в табл. 2, 3 свидетельствует о следующем:

- в условиях затенения мест скопления абонентов зданиями при пространственной

плотности АУ в активном состоянии $\rho_{MS} = 0,32 \text{ АУ/м}^2$, высоте подвеса антенн БС, равной 25 м, и ЭИИМ БС, равной 43 дБмВт/канал, суммарная интенсивность ЭМФ, создаваемого АУ и БС, может составлять $-11,0 \text{ дБВт/м}^2$ и не превышает ПДУ. При увеличении высоты подвеса антенн БС до 30...35 м значение верхней границы диапазона суммарной интенсивности ЭМФ от АУ и БС снижается до значений $-23,5...-17,0 \text{ дБВт/м}^2$. При таких условиях РРВ основной вклад в общий уровень ЭМФ вносят излучения множества АУ. Суммарная интенсивность ЭМФ, создаваемого БС при высоте подвеса антенн 25...35 м, незначительна ($-90,5...-57,3 \text{ дБВт/м}^2$) и не вносит существенного вклада в общий уровень ЭМФ, создаваемого оборудованием сотовой радиосети в местах скопления абонентов. При $\rho_{MS} = 0,16 \text{ АУ/м}^2$ значение верхней границы диапазона суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого БС и АУ, снижается на 1,1...8,6 дБ в зависимости от высоты подвеса антенн БС;

– в местах скопления абонентов в прямой видимости БС при пространственной плотности АУ в активном состоянии $\rho_{MS} = 0,32 \text{ АУ/м}^2$, высоте подвеса антенн БС, равной 25 м, и ЭИИМ БС, равной 43 дБмВт/канал, суммарная интенсивность ЭМФ, создаваемого АУ и БС в местах скопления абонентов, достигает $-23,5 \text{ дБВт/м}^2$ и остается приемлемой с точки зрения электромагнитной безопасности. В таких условиях РРВ излучения БС в большей степени вносят вклад в общий уровень ЭМФ по сравнению с излучениями множества АУ. При увеличении высоты подвеса антенн БС до 30...35 м суммарный уровень интенсивности ЭМФ, создаваемого БС и АУ, существенно не изменяется. При увеличении ЭИИМ БС до 53...58 дБмВт/канал значение верхней границы диапазона суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого БС и АУ, находится в пределах $-14,2...-9,1 \text{ дБВт/м}^2$ и может превышать ПДУ, что является небезопасным для населения.

Заключение

На основе полученных результатов оценок суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого оборудованием сотовых радиосетей стандарта GSM-1800 на рассматриваемом участке городской территории г. Минска в местах скопления абонентов в часы наибольшей абонентской нагрузки, установлено следующее:

– в условиях затенения мест скопления абонентов зданиями и при высоком уровне внутрисетевых помех излучения множества АУ вносят существенный вклад в общий уровень ЭМФ, создаваемого оборудованием сотовой радиосети и многими другими источниками излучения;

– в местах скопления абонентов в прямой видимости БС преимущественный вклад в общий уровень ЭМФ вносят излучения множества БС на рассматриваемой городской территории. Увеличение ЭИИМ БС с 43...45 дБмВт/канал до 53...58 дБмВт/канал нецелесообразно, поскольку данная мера не позволяет повысить качество связи, пропорционально увеличивая уровни внутрисетевых помех, и приводит к возрастанию суммарной интенсивности ЭМФ от БС до значений, превышающих ПДУ.

Список литературы

1. From mobile phone data to the spatial structure of cities / T. Louail [et al.] // Scientific Reports, Vol. 4:5276. 2014. P. 1–12.
2. The evaluation of Stationary and Mobile Components of Radiofrequency Electromagnetic Exposure in the Public Accessible Environment / J. Karpowicz [et al.] // Proceedings of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2017. Angers, 4–8 September 2017. P. 1–4.
3. Evaluation of exposure to radiofrequency radiation in the indoor workplace accessible to the public by the use of frequency-selective exposimeters / K. Gryz [et al.] // International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. 2014. Vol. 27. P. 1043–1054.
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.9-36-2002. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Республика Беларусь, 2002.
5. Wireless InSite: Site-specific Radio Propagation Prediction Software. Reference Manual. Version 3.2.0, REMCOM, November 2017.
6. Walke B., Seidenberg R., Althoff M. P. UMTS: The Fundamentals, John Wiley & Sons, 2003. 324 p.
7. 3GPP TS 45.005 V14.0.0 (2017-03). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; GSM/EDGE Radio transmission and reception (Release 14).
8. Svistunov A., Mordachev V. Required levels of radiation power of GSM base stations on urban area taking into

- account attenuation in buildings and intrasystem EMC // Proc. of the 2016 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2016. Wroclaw, 5–9 September 2016. P. 596–601.
9. Recommendation ITU-R P.1411-9. Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz. Geneva, 2017.
 10. Mordachev V. Electromagnetic Background Created by Base and Mobile Radio Equipment of Cellular Communications // Proceedings of the 2016 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2016. Wroclaw, 5–9 September 2016. P. 590–595.
 11. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. М.: Минздрав России, 2003.
 12. Svistunov A. Estimation of Electromagnetic Background Created by Equipment of Cellular Radio Networks in Urban Areas with High Spatial Density of Subscribers // Proc. of the International Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2018. Amsterdam, 27–30 August 2018. P. 184–189.

References

1. From mobile phone data to the spatial structure of cities / T. Louail [et al.] // Scientific Reports, Vol. 4:5276. 2014. P. 1–12.
2. The evaluation of Stationary and Mobile Components of Radiofrequency Electromagnetic Exposure in the Public Accessible Environment / J. Karpowicz [et al.] // Proceedings of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2017. Angers, 4–8 September 2017. P. 1–4.
3. Evaluation of exposure to radiofrequency radiation in the indoor workplace accessible to the public by the use of frequency-selective exposimeters / K. Gryz [et al.] // International Journal of Occupational Medicine and environmental Health. 2014. Vol. 27. P. 1043–1054.
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.9-36-2002. Jelektromagnitnye izluchenija radiochastotnogo diapazona (JeMI RCh). Respublika Belarus', 2002. (in Russ.)
5. Wireless InSite: Site-specific Radio Propagation Prediction Software. Reference Manual. Version 3.2.0, REMCOM, November 2017.
6. Walke B., Seidenberg R., Althoff M. P. UMTS: The Fundamentals, John Wiley & Sons, 2003. 324 p.
7. 3GPP TS 45.005 V14.0.0 (2017-03). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; GSM/EDGE Radio transmission and reception (Release 14).
8. Svistunov A., Mordachev V. Required levels of radiation power of GSM base stations on urban area taking into account attenuation in buildings and intrasystem EMC // Proc. of the 2016 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2016. Wroclaw, 5–9 September 2016. P. 596–601.
9. Recommendation ITU-R P.1411-9. Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz. Geneva, 2017.
10. Mordachev V. Electromagnetic Background Created by Base and Mobile Radio Equipment of Cellular Communications // Proceedings of the 2016 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2016. Wroclaw, 5–9 September 2016. P. 590–595.
11. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. Gигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной радиосвязи. М.: Минздрав России, 2003. (in Russ.)
12. Svistunov A. Estimation of Electromagnetic Background Created by Equipment of Cellular Radio Networks in Urban Areas with High Spatial Density of Subscribers // Proc. of the International Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2018. Amsterdam, 27–30 August 2018. P. 184–189.

Сведения об авторах

Свистунов А.С., м.н.с. НИЛ 1.7 НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Svistunov A.S., junior researcher of SRL 1.7 R&D department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-17-293-84-38;
e-mail: emc@bsuir.by
Свистунов Александр Сергеевич

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian state university
of informatics and radioelectronics
tel. +375-17-293-84-38;
e-mail: emc@bsuir.by
Svistunov Alexander Sergeevich