

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СОТОВЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ ГОРОДА ВЛАДИВОСТОКА

Л. Г. Стаценко, А. А. Бахвалова

*ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,
г. Владивосток, Приморский край, Россия*

Рецензент д-р техн. наук, доцент Я. Ю. Блиновская

Ключевые слова: базовая станция; зона ограничения застройки; распределение поля; электромагнитная экология; электромагнитное загрязнение; электромагнитные поля техногенного происхождения.

Аннотация: Представлены результаты моделирования границ распределения электромагнитного излучения по предельно допустимым уровням в городе Владивостоке на примере выбранного района. Рассмотрен вариант размещения оборудования до внедрения сетей 4-го поколения и с учетом оборудования сетей 4G. Показано, как происходит изменение распределения поля при увеличении мощностей передающих радиотехнических объектов. В ходе расчетов учтены особенности рельефа и застройки города. Выявлено увеличение границ суммарного распределения электромагнитного излучения в заданном районе за счет взаимного влияния передающих объектов друг на друга.

Введение

В конце 1990-х годов термин «электромагнитная экология» прочно вошел в жизнь вместе с медико-биологической и инженерной экологией [1]. Сформировался новый фактор загрязнения окружающей среды – электромагнитные поля (ЭМП) техногенного происхождения, при этом основным источником электромагнитных излучений радиочастотного диапазона являются передающие радиотехнические объекты (ПРТО) радиосвязи. Наибольший масштаб данный вид загрязнения приобрел с внедрением и развитием сетей сотовой связи.

Стаценко Любовь Григорьевна – доктор физико-математических наук, профессор, директор Политехнического института, департамента электроники, телекоммуникации и приборостроения; Бахвалова Анна Александровна – старший преподаватель, Политехнический институт, департамент электроники, телекоммуникации и приборостроения, e-mail: bakhvalova.aa@dvfu.ru, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, Приморский край, Россия.

Близость источников ЭМП к жилым районам формирует электромагнитную нагрузку на население, несущую в себе скрытое вредное воздействие на окружающую среду и человека, находящегося в зоне действия.

Ряд работ отечественных и зарубежных авторов посвящен исследованиям общих закономерностей воздействия ЭМП в различных районах города, проведено сравнение с воздействием в сельской местности; на открытых пространствах и станциях общественного транспорта [2 – 7]. Показано, что в связи с ростом требований к пропускной способности каналов связи, увеличивается количество базовых станций (БС) операторов сотовой связи, поэтому большее количество людей живут в непосредственной близости от базовых станций.

Геопространственное моделирование воздействия ЭМП – современный метод экологической оценки. Естественно предположить, что контроль ЭМП БС методом измерений – составная часть мониторинга их безопасной эксплуатации. Определение границ зоны контроля, расположение точек измерений проводится с учетом предварительных расчетов, типов антенн, их параметров, застройки, характера рельефа и т.д. [8 – 10].

Метод оценки влияния

В целом, разработка мер по ограничению воздействия ЭМП БС на население складывается из анализа технических данных БС мобильной связи, ее расположения, оценки рельефа, высоты застройки и выявления зданий, а также территорий повышенного риска. После расчета параметров ЭМП, границ зоны ограничения застройки (ЗОЗ) и санитарно-защитной зоны (СЗЗ), результатов измерения параметров поля разрабатываются меры по ограничению воздействия на население.

Несмотря на то что все параметры сетей связи имеют под собой общую физическую основу, решение комплексной задачи для всей сети в целом может быть индивидуальным.

Так, распределение плотности потока мощности определяется для отдельно стоящей базовой станции ввиду того, что область, в которой превышен предельно допустимый уровень (ПДУ) – зона ограничения застройки – имеет пределы, установленные характеристиками БС. Однако тенденции развития современных городов приводят операторов к необходимости наращивать емкости сети. В случае с частотно-территориальным планированием (ЧТП) происходит лишь «наслоение» сигналов разных диапазонов частот в соте, а электромагнитный фон начинает расти с добавлением новых стандартов связи.

Распределение электромагнитного излучения (ЭМИ) в городах зависит от плотности застройки и особенностей рельефа. Поэтому для каждого города существует своя уникальная модель распределения сигнала [11].

Нерегулярное территориальное деление и неравномерное распределение нагрузки, присущие городам со сложным рельефом, приводят к тому, что картина распределения ЭМИ становится сложно предсказуемой. И если каждый оператор связи формирует отдельную сеть на территории города, то все эти сети формируют общий электромагнитный фон, который может быть выше предельного.

Результаты проведенного исследования

На примере развивающегося района города Владивостока рассмотрим, как меняется распределение плотности потока мощности по ПДУ при наращивании емкостей и стандартов базовых станций.

Для этого проведем расчет распределения поля с установлением границ по уровню $10,0 \text{ мкВт/см}^2$, что является ПДУ для населения в диапазоне частот $300 \text{ МГц} \leq f \leq 2400 \text{ МГц}$ [11], на выбранном участке города с неоднородной разнорельефной застройкой и сложным рельефом площадью 400 м^2 .

В соответствии с нормативными документами [12, 13] для нескольких БС, установленных в одном месте (на крыше здания, антенной опоре), проводится общий расчет распределения поля и формируется граница суммарной ЗОЗ. Опытным путем, в связи с постоянным ростом числа источников ЭМИ, при расчетах учитываются также БС, расположенные в радиусе 100 м от заданного источника. При этом в зависимости от направленности антенн и технических параметров, от которых зависит формирование зоны, ЗОЗ объектов могут объединяться, иметь только точки слияния, усиливать друг друга и не оказывать существенного влияния, однако формирование границ совместного влияния ПРТО носит индивидуальный характер и зависит также от особенностей подстилающей поверхности и селитебной территории.

Постоянный рост источников ЭМИ приводит к увеличению протяженности ЗОЗ и слиянию даже достаточно удаленных друг от друга ПРТО. Одна из причин – установка оборудования стандарта LTE. Особенностью сетей 4 поколения является их гибкая реализация в различных частотных диапазонах. В России, и в частности, Приморском крае, стандарт LTE работает в Band 3, Band 7, Band 20 и Band 38. При этом первые три частотных полосы используются для частотного разноса входящего и исходящего каналов (FDD), а четвертая частотная полоса для временного разноса входящего и исходящего каналов. Таким образом, возможна работа базовой станции сразу в четырех частотных диапазонах стандарта LTE, что несомненно отразится на границах ЗОЗ.

Особенностями выбранного участка являются неоднородный рельеф, понижающийся с 80,0 до 42,4 м над уровнем моря в северном направлении, преобладающая административная и жилая высотная застройка. На данной площади сосредоточено 19 БС четырех операторов сотовой связи. Такая концентрация ПРТО объясняется большим количеством плотной высотной жилой застройки вокруг административной, к тому же из-за перепадов рельефа образуются так называемые белые пятна, для покрытия которых требуются дополнительные БС.

Всего можно выделить пять точек большой концентрации БС в данном районе и одну точечную БС, ЗОЗ которой с учетом расчетных параметров не пересекается с другими ЗОЗ.

Две центральные точки размещения ПРТО располагаются по адресу: ул. Гоголя, 41, на комплексе зданий Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, на разных отметках рельефа и зданиях различной высоты (рис. 1, точки 1, 2). В связи с небольшой удаленностью



Рис. 1. Ситуационный план с расположением ПРТО и границами ЗОЗ от ПРТО без учета оборудования стандарта LTE, сечение на отметке, м:
■ – 80; ■ – 85

друг от друга они формируют общую ЗОЗ. В северном направлении, ниже по рельефу приблизительно на 18,0 м, на девятиэтажном административном здании расположены четыре БС (см. рис. 1, точка 3); в северо-западном – одиночная БС (см. рис. 1, точка 4), а также ПРТО из трех БС, которые формируют общую ЗОЗ, однако не пересекаются с другими (см. рис. 1, точка 5).

В южном направлении располагается ПРТО из четырех БС, разнесенных друг относительно друга (см. рис. 1, точка 6). Максимальная удаленность БС друг от друга составляет 740 м, минимальная – 56 м.

В качестве наглядного изменения электромагнитной обстановки проведен суммарный расчет границ ЗОЗ для всех источников ЭМИ на заданном участке с учетом перепадов рельефа без учета оборудования стандарта LTE и с учетом.

Для оценки совместного влияния выбраны две отметки высот 80 и 85 м. Именно на данных высотах наглядно видно объединение ЗОЗ различных ПРТО. Таким образом, на отметке рельефа 80 м над уровнем моря происходит объединение ЗОЗ ПРТО по ул. Гоголя, 41 и проспекту Красного Знамени, 39; на отметке 85 м от уровня моря – слияние ЗОЗ от антенн, установленных в южной части здания по ул. Гоголя, 41, и ПРТО на ул. Крылова, 10.

В связи с развитием технологий в сотовой связи и большим спросом на услуги связи, операторы вынуждены обновлять и оптимизировать оборудование базовых станций. Установка оборудования стандарта LTE требует изменений как внутри самой БС, так и в антенно-фидерном тракте.

Современные базовые станции соединяются с антеннами с помощью оптоволоконного кабеля, при этом приемопередатчики – выносные радиочастотные блоки (RRU) – располагаются в непосредственной близости к антеннам, что снижает потерю мощности. Для нового стандарта требуются свои RRU, также антенны должны поддерживать требуемые частотные диапазоны.

Для оптимизации сети используются современные многодиапазонные антенны, которые позволяют подключить до пяти диапазонов частот, где каждому диапазону будет соответствовать свой RRU. Таким образом, упрощаются монтаж оборудования, нагрузка на конструкции, в местах, где разнесенные по вертикали и горизонтали антенны заменяются одной, но при этом возрастает уровень ЭМИ. Это приводит к увеличению протяженности ЗОЗ, формируемой антеннами БС [18].

Рассмотрим, как изменится электромагнитная обстановка при учете стандарта LTE на тех БС, где он фактически работает. В точке 1 обе БС работают в стандарте LTE-1800 и LTE-1800/2600; в точке 2 одна БС – в стандарте LTE-1800, две БС – в стандартах LTE-1800/2600; в точке 3 одна БС – в стандарте LTE-1800, две БС – в стандартах LTE-1800/2600, одна БС – в стандарте LTE-2600.

Появляются высоты, на которых происходит дополнительное слияние границ ЗОЗ различных ПРТО, которого раньше не было (рис. 2). Таким образом, область пространства с превышенным уровнем ЭМИ становится



Рис. 2. Ситуационный план с границами ЗОЗ от ПРТО с учетом оборудования стандарта LTE, сечение на отметке, м:
■ – 76,4; ■ – 80; ■ – 83,1; ■ – 85; ■ – 92; ■ – 98,7

значительно больше как по протяженности, так и относительно близости к подстилающим поверхностям, что в свою очередь приводит к необходимости рассматривать даже такие удаленные друг от друга объекты, как единый ПРТО.

Заключение

Проведена оценка ЭМ обстановки от передающих объектов в городе Владивостоке, определены границы СЗЗ в некоторых густонаселенных районах города. Показано, что в связи со сложным рельефом города, расположенного на полуострове Муравьева-Амурского, ограниченного двумя заливами и гористой местностью, выбор мест размещения ПРТО мал. И, как правило, БС размещаются на малоэтажных зданиях, окруженных высотными домами. Базовые станции различных операторов размещаются на одних и тех же объектах, что приводит к взаимному влиянию антенн, увеличению интенсивности электромагнитного поля, приближаясь к максимально допустимым значениям.

Результатом совместной модернизации всех базовых станций операторов сотовой связи стало изменение распределения поля и расширения границ ЗОЗ до слияния ранее независимых зон на некоторых высотах.

«Критическими» на исследуемом участке являются высоты 80, 85 и 98,7 м над уровнем моря, так как в границы ЗОЗ на этих сечениях могут попадать части расположенных рядом зданий. В первую очередь это связано с разницей в высотах подвеса и неравномерной подстилающей поверхностью. Таким образом, в городах со сложным рельефом распределение электромагнитного поля происходит неравномерно, а слоями, с учетом перепадов рельефа, и может приводить к слиянию ЗОЗ объектов, удаленных друг от друга.

Район интенсивно застраивается, в связи с этим системный мониторинг уровней ЭМП, построение карт электромагнитных полей, разработка методов прогнозирования величины ЭМП позволит повысить безопасность человека. Считаем, что на этапе формирования и разработки градостроительного плана необходимо учитывать уже определенные ЗОЗ, особенно при работе нескольких операторов связи.

Развитие современных технологий связано с использованием частотного спектра, биологическое действие которого недостаточно изучено, поэтому перед специалистами связи, биологами, медиками, экологами стоит сложная многофункциональная задача – развертывание экологически чистых сетей беспроводного доступа и переход к социально-ориентированному мониторингу.

Список литературы

1. Сподобаев, Ю. М. Основы электромагнитной экологии / Ю. М. Сподобаев, В. П. Кубанов. – М. : Радио и связь, 2000. – 240 с.

2. Faisal, M. M. A. Cell Tower Radiation and Effect on Human Body: Bangladesh Perspective / M. M. A. Faisal, M. G. Mortuza, T. Alam // *Proceedings of the 2018 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET)*, 27–28 October, 2018, Chittagong, Bangladesh. – IEEE, 2018. – P. 423 – 426. doi: 10.1109/ICISSET.2018.8745560
3. Грачев, Н. Н. Электромагнитные излучения базовых станций сотовой радиосвязи как фактор опасных воздействий на человека / Н. Н. Грачев, С. Н. Сафонов // *Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем «Радиоинфоком – 2017»* : сб. науч. тр. III Междунар. науч.-практ. конф., 13 – 17 ноября 2017 г., Москва. – М., 2017. – С. 240 – 250.
4. Григорьев, Ю. Г. Мобильная связь и здоровье населения: оценка опасности, социальные и этические проблемы / Ю. Г. Григорьев, О. А. Григорьев // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2011. – Т. 51, № 3. – С. 357 – 368.
5. Григорьев, Ю. Г. От электромагнитного смога до электромагнитного хаоса. К оценке опасности мобильной связи для здоровья населения / Ю. Г. Григорьев // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. – 2018. – Т. 63, № 3. – С. 28 – 33. doi: 10.12737/article_5b168a752d92b1.01176625
6. Sagar, S. Comparison of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure Levels in Different Everyday Microenvironments in an International Context / S. Sagar, S. M. Adem, B. Struchen [et al.] // *Environment International*. – 2018. – Vol. 114. – P. 297 – 306. doi: 10.1016/j.envint.2018.02.036
7. Public Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in Everyday Microenvironments: An Updated Systematic Review for Europe / H. Jalilian, M. Eeftens, M. Ziaei, M. Röösli // *Environmental Research*. – 2019. – Vol. 176. – P. 108517. doi: 10.1016/j.envres.2019.05.048
8. Bhatt, Ch. R. Measuring Personal Exposure from 900 MHz Mobile Phone Base Stations in Australia and Belgium Using a Novel Personal Distributed Exposimeter / Ch. R. Bhatt, A. Thielens, M. Redmayne [et al.] // *Environment International*. – 2016. – Vol. 92-93. – P. 388 – 397. doi:10.1016/j.envint.2016.03.032
9. Мордачев, В. И. Оценка уровня электромагнитного фона, создаваемого беспроводными системами информационного обслуживания населения, на основе прогноза территориальной плотности трафика / В. И. Мордачев // *Доклады Белорусского гос. ун-та информатики и радиоэлектроники*. – 2019. – № 2 (120). – С. 39 – 49.
10. Стаценко, Л. Г. Электромагнитная обстановка при формировании городской застройки / Л. Г. Стаценко, А. А. Агеева // *Вестн. инженерной школы Дальневосточного федер. ун-та*. – 2018. – № 4 (37). – С. 119 – 127. doi: 10.5281/zenodo.2008682
11. Stacenko, L. G. Assessment of Electromagnetic Background Levels from Base Stations of Mobile Networks from the Point of View of Technosphere Safety / L. G. Stacenko, A. A. Bakhvalova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2020. – Vol. 459. – P. 052090. doi:10.1088/1755-1315/459/5/052090
12. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. – Введ. 2003-06-30. – М. : Федер. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 22 с.
13. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. – Введ. 2003-06-01. – М. : Федер. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 27 с.

References

1. Spodobayev Yu.M., Kubanov V.P. *Osnovy elektromagnitnoy ekologii* [Fundamentals of electromagnetic ecology], Moscow: Radio i svyaz', 2000, 240 p. (In Russ.)
2. Faisal M.M.A., Mortuza M.G., Alam T. Cell Tower Radiation and Effect on Human Body: Bangladesh Perspective, Proceedings of the 2018 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET), 27-28 October, 2018, Chittagong, Bangladesh, IEEE, 2018, pp. 423-426, doi: 10.1109/ICISSET.2018.8745560
3. Grachev N.N., Safonov S.N. *Aktual'nyye problemy i perspektivy razvitiya radiotekhnicheskikh i infokommunikatsionnykh sistem «Radioinfocom - 2017»* [Actual problems and prospects for the development of radio engineering and infocommunication systems "Radioinfocom - 2017"], Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference, 13 - 17 November, 2017, Moscow, 2017, pp. 240-250. (In Russ.)
4. Grigor'yev Yu.G., Grigor'yev O.A. [Mobile communications and public health: hazard assessment, social and ethical problems], *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2011, vol. 51, no. 3, pp. 357-368. (In Russ.)
5. Grigor'yev Yu.G. [From electromagnetic smog to electromagnetic chaos. To the assessment of the danger of mobile communications for public health], *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'* [Medical radiology and radiation safety], 2018, vol. 63, no. 3, pp. 28-33, doi: 10.12737/article_5b168a752d92b1.01176625 (In Russ., abstract in Eng.)
6. Sagar S., Adem S.M., Struchen B. [et al.] Comparison of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure Levels in Different Everyday Microenvironments in an International Context, *Environment International*, 2018, vol. 114, pp. 297-306, doi: 10.1016/j.envint.2018.02.036
7. Jalilian H., Eeftens M., Ziaei M., Röösli M. Public Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in Everyday Microenvironments: An Updated Systematic Review for Europe, *Environmental Research*, 2019, vol. 176, p. 108517, doi: 10.1016/j.envres.2019.05.048
8. Bhatt Ch.R., Thielens A., Redmayne M. [et al.] Measuring Personal Exposure from 900 MHz Mobile Phone Base Stations in Australia and Belgium Using a Novel Personal Distributed Exposimeter, *Environment International*, 2016, vol. 92-93, pp. 388-397, doi:10.1016/j.envint.2016.03.032
9. Mordachev V.I. [Assessment of the level of the electromagnetic background generated by wireless information service systems for the population, based on the forecast of territorial traffic density], *Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki* [Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics], 2019, no. 2 (120), pp. 39-49. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Statsenko L.G., Ageyeva A.A. [Electromagnetic environment in the formation of urban development], *Vestnik inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta* [Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University], 2018, no. 4 (37), pp. 119-127, doi: 10.5281/zenodo.2008682 (In Russ., abstract in Eng.)
11. Stacenko L.G., Bakhvalova A.A. Assessment of Electromagnetic Background Levels from Base Stations of Mobile Networks from the Point of View of Technosphere Safety, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 459, p. 052090, doi:10.1088/1755-1315/459/5/052090

12. *SanPiN 2.1.8/2.2.4.1383-03 Gigiyenicheskiye trebovaniya k razmeshcheniyu i ekspluatatsii peredayushchikh radiotekhnicheskikh ob"yektov* [SanPiN 2.1.8/2.2.4.1383-03 Hygienic requirements for the placement and operation of transmitting radio engineering objects], Moscow: Federal'nyy tsentr Gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2003, 22 p. (In Russ.)

13. *SanPiN 2.1.8/2.2.4.1190-03 Gigiyenicheskiye trebovaniya k razmeshcheniyu i ekspluatatsii sredstv sukhoputnoy podvizhnoy radiosvyazi* [SanPiN 2.1.8/2.2.4.1190-03 Hygienic requirements for the placement and operation of land mobile radio communications], Moscow: Federal'nyy tsentr Gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2003, 27 p. (In Russ.)

Assessment of Electromagnetic Contamination in Modernization of Cellular Communication Networks of Vladivostok

L. G. Statsenko, A. A. Bakhvalova

*Far Eastern Federal University,
Vladivostok, Primorsky Territory, Russia*

Keywords: base station; development restriction zone; field distribution; electromagnetic ecology; electromagnetic pollution; electromagnetic fields of technogenic origin.

Abstract: The results of modeling the boundaries of the distribution of electromagnetic radiation at the maximum permissible levels in the city of Vladivostok are presented using the example of the selected region. The option of placing equipment before the introduction of 4G networks and taking into account the equipment of 4G networks was considered. It is shown how the field distribution changes with an increase in the power of transmitting radio engineering objects. In the course of the calculations, the features of the relief and building of the city were taken into account. An increase in the boundaries of the total distribution of electromagnetic radiation in a given area is revealed due to the mutual influence of transmitting objects on each other.

© Л. Г. Стаценко, А. А. Бахвалова, 2021