

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ И АБОНЕНТСКИХ ТЕРМИНАЛОВ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Л. Г. Стаценко, М. М. Смирнова, Н. Б. Цыренова

*ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,
Владивосток, Россия*

Ключевые слова: базовая станция; мобильный терминал; плотность потока энергии; предельно допустимые уровни; поглощенная мощность; электромагнитное излучение.

Аннотация: Рассмотрен вопрос электромагнитной безопасности базовых станций и абонентских терминалов современных систем связи. Проанализировано воздействие электромагнитных полей, создаваемых оборудованием связи, на здоровье человека и окружающую среду. Приведен обзор международных стандартов и рекомендаций по электромагнитной безопасности, а также сравнение влияния разных поколений стандартов связи, существующих мобильных терминалов с точки зрения экологической безопасности. Рассмотрены существующие методы и технологии, способные снизить негативное влияние электромагнитного излучения в набирающем популярность стандарте мобильной связи 5G. Приведен пример возможной реализации одного из методов снижения уровня электромагнитного излучения, воздействующего на голову человека при использовании мобильной связи. На основе проведенного анализа воздействия электромагнитных излучений, исходящих от оборудования связи, на организм человека и окружающую среду сделан вывод о необходимости более глубокого изучения данного вопроса и осуществления контроля электромагнитного излучения мобильных систем связи.

Введение

В современном мире технологии связи играют ключевую роль в жизни общества, обеспечивая коммуникацию, доступ к информации и возможность обмена данными на глобальном уровне. Однако развитие техно-

Стаценко Любовь Григорьевна – доктор физико-математических наук, профессор департамента электроники, телекоммуникации и приборостроения, e-mail: statsenko.lg@dvfu.ru; Смирнова Мария Михайловна – старший преподаватель департамента электроники, телекоммуникации и приборостроения; Цыренова Нарана Будажаповна – магистрант, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия.

логий связи также ставит перед нами новые вызовы и проблемы, одной из которых является обеспечение электромагнитной безопасности используемых систем. Базовые станции и абонентские терминалы современных систем связи являются источниками электромагнитных излучений (ЭМИ), которые могут оказывать негативное влияние на здоровье человека, экосистему и техническое оборудование. В связи с этим изучение вопросов электромагнитной безопасности и разработка мер по ее обеспечению становятся актуальными задачами, решение которых необходимо для обеспечения устойчивого развития и безопасности связи в будущем.

Электромагнитный фон окружающей среды изменяется за счет увеличения количества радиообъектов, что приводит к неравномерности радиопокрытия. Согласно [1 – 3], источниками электромагнитных полей, оказывающими наибольшее воздействие на человека, являются системы мобильной связи, а именно линия связи от базовой станции к абонентскому терминалу на открытом воздухе (напряженность электрического поля $E = 0,3 \dots 0,7$ В/м) и линия связи от мобильного терминала к базовой станции в общественном транспорте ($E = 0,5 \dots 1,0$ В/м).

Рекомендации по определению предельно допустимого уровня излучения

В России уровень электромагнитного излучения регулируется санитарными правилами и нормами 2.2.4/2.1.8.055-96, 2.1.8/2.2.4.1383-03 и гигиеническими нормативами 2.1.8./2.2.4.019-94, согласно которым в РФ существуют единые предельно допустимые уровни (ПДУ), измеряемые в интенсивностях (плотностях потока энергии (ППЭ)), Вт/см², для населения, проживающего на прилегающей селитебной территории, ППЭ от антенн базовых станций (БС) должна составлять не более 10 мкВт/см², а ППЭ от радиотелефонов – не более 100 мкВт/см². Плотность потока энергии, Вт/см³, в области головы для мобильного терминала с ненаправленной антенной можно рассчитать [4]

$$I = \frac{P}{4\pi r^2},$$

где P – мощность источника излучения, Вт; r – расстояние от источника излучения до тела человека, см.

В других странах при определении ПДУ ориентируются на уровень ЭМИ, влияние которого может привести к очевидно опасным последствиям. За рубежом ПДУ относится к значению SAR (*англ.* Specific Absorption Rate – коэффициент удельной поглощенной мощности, выраженной на единицу массы тела, Вт/кг). В ближней зоне [5]

$$SAR = \sigma \frac{E^2}{\rho},$$

где σ – удельная электропроводность ткани человека, См/м; ρ – плотность ткани человека, кг/м³; E – напряженность электрического поля в ткани, В/м.

Предельно допустимые уровни SAR отличаются в зависимости от принятых в стране рекомендаций: ICNIRP 2020, ICNIRP 1998, FCC 1996 и др.

Влияние электромагнитного излучения на человека и окружающую среду

Исследования не дают каких-либо последовательных доказательств неблагоприятного воздействия на здоровье радиочастотных полей на уровнях, ниже тех, которые вызывают нагрев. Исследования различных групп по всему миру (ARPANSA – Австралия, ANSES – Франция, Health – Канада, FAS – Швеция, HPA/PHE – Соединенное Королевство, FDA – США и др.) по данному вопросу в последние десятилетия вызывают разногласия: некоторые ученые утверждают, что негативные эффекты имеют место быть, в то время как другие это отрицают, но в рекомендации выносят предложения уменьшить воздействие ЭМИ и продолжить исследования [6 – 8].

Микроволновое излучение оказывает влияние не только на людей, но и на животных и растительные организмы, причем растения и деревья, по данным многочисленных исследований, подвергаются более сильному воздействию, в основном не из-за их более деликатной структуры, а из-за их статичности, которая приводит к постоянному облучению. В местах, прилегающих к базовым станциям, наблюдается наиболее сильное антропогенное воздействие ЭМИ на растения [9]. Наименьший уровень интенсивности электромагнитного излучения базовыми станциями, который может негативно влиять на рост растений, составляет $0,1 \dots 10 \text{ мВт/м}^2$ [10]. В работе [11] предполагают, что именно поляризованные волны глубже проникают в растительный покров и способны нарушить электрохимический баланс клеток. Длительное воздействие ЭМИ вызывает ухудшение внешнего состояния растений и замедление роста [12].

Подавляющее большинство исследований обычно проходят в специализированных лабораториях, где присутствуют факторы, отличающиеся от реального мира. В качестве объектов часто используются крысы, мыши и другие животные с биологическим строением, отличным от человеческого. Из-за этих различий результаты экспериментов не всегда могут быть полностью применимы к человеческому телу.

Излучение базовых станции воздействует на все тело человека, но с малой интенсивностью, в то время как мобильные терминалы воздействуют локально, но с большей интенсивностью, например, на головной мозг, щитовидную железу и т.д. Воздействие ЭМП БС круглосуточное и постоянное, а абонентских терминалов – периодическое и кратковременное [13]. В течение последних трех десятилетий проведены различные исследования по вопросу электромагнитной безопасности базовых станций в условиях различной застройки. При сравнении полученных результатов с некоторыми международными стандартами и рекомендациями замечено, что максимальное измеренное значение составляло всего 0,007 % от ПДУ ICNIRP и 0,005 % от ПДУ FCC [14]. Более того, измеренные значения были обусловлены не только мобильными базовыми станциями, но и всеми другими источниками излучения в диапазоне от 200 кГц до 3 ГГц. В то же время, согласно [15], показатели SAR в среднем выше на 0,3 Вт/кг пределов, установленных Международной комиссией по защите от неионизирующего излучения.

Мощность излучения мобильного телефона зависит от состояния канала связи с базовой станцией. При повышении уровня сигнала базовой станции в месте расположения приемника уменьшается мощность излучения мобильного телефона. Ведущие компании-производители мобильных телефонов придерживаются значения удельного коэффициента поглощения (SAR), равного 1,6 Вт/кг, которое рекомендовано Федеральной комиссией по связи (FCC). Согласно расчетам, при соблюдении данной рекомендации максимальное время ежедневного использования телефона человеком составляет не более 24 мин [16]. В список моделей телефонов с наибольшим SAR (Вт/кг) попали: Motorola Edge (1,79), OnePlus 6T (1,55), Sony Xperia XA2 Plus (1,41), OnePlus 7T (1,4), Google Pixel 4 XL (1,39), Redmi K20 Pro (1,33) [17]. При сравнении поколений стандартов беспроводной связи [18] можно заметить следующие тенденции: с каждым новым поколением увеличивается мощность базовой станции, мобильного телефона; возрастает выброс CO₂; повышается SAR. Технические средства сетей 5G вызывают больший нагрев кожных тканей по сравнению с устройствами сетей 4G и 3G. В свою очередь 5G практически не ведет к нагреву всего тела, а локализует воздействие, в отличие от технологии 4G. В сетях 5G используются миллиметровые волны, передаваемые на более короткие расстояния, имеющие меньшую проникающую способность. Они могут проникать в кожу на глубину до 0,41 мм (42 ГГц), а излучение сетей 4G – на глубину до 1 мм. В сетях 5G используется большое количество базовых станций. Воздействие ЭМИ возрастает в стандартах 5G по сравнению с предыдущими поколениями связи, несмотря на увеличение рабочей частоты [19].

Подходы, способные снизить мощности передатчиков, уровни воздействия ЭМИ и значения SAR в сетях 5G

1. Технология MIMO (*англ.* Multiple Input – Multiple Output, множественный вход – множественный выход) предполагает использование нескольких приемопередающих антенн для получения направленного луча в сторону абонентского терминала, что позволяет уменьшить мощность передачи.

2. Метод формирования диаграммы направленности (*англ.* Beam-forming). Используются антенные решетки для фокусирования ЭМИ в направлении каждого пользователя мобильного телефона.

3. Технология D2D (*англ.* device-to-device). Эта технология прямой связи между устройствами, которая позволяет им обмениваться данными напрямую без участия базовой станции, что позволяет снизить мощность передачи, увеличить скорость передачи данных и снизить нагрузку на сеть.

4. Зеленый Интернет вещей (Green IoT). Данная технология поможет снизить парниковый эффект и уменьшить передаваемые мощности более чем на 30 %.

5. Экранирование SAR (SAR shielding). Основной принцип действия строится на применении метаматериалов или ферритов для снижения уровня излучения электромагнитных полей при экранировании излучения от мобильного телефона, планшета и других устройств в сторону головы. Рассмотрим данную технологию подробно.

Пример возможной реализации экрана SAR

Процесс экранирования SAR включает в себя использование специальных материалов и конструкций для создания «барьера» между источником излучения и телом пользователя. Эти материалы могут включать металлизированные экраны, ферритовые бусины или специальные покрытия на печатной плате устройства.

Далее приводится исследование метаповерхностной структуры с элементами SRR (англ. Split Ring Resonator – резонатор в виде разомкнутого кольца) (рис. 1). Элемент SRR представляет собой кольцевую структуру с вырезом, имитирующим электрическую емкость. Кольцо интегрировано в контур, геометрия которого оптимизирована методом эволюционного алгоритма. Расчет модели и ее алгоритмическая оптимизация проводились в программной среде CST Software Suite. Металлизация выполнена медью толщиной 35 мкм, диэлектрическая подложка толщиной 2,1 мм выполнена из полиимида с коэффициентом диэлектрической проницаемости 3,5. Геометрические размеры поверхности 24 мм на 24 мм.

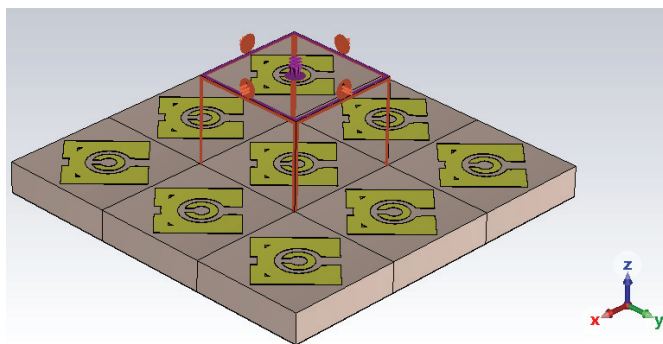


Рис. 1. Метаповерхностная структура с элементами SRR

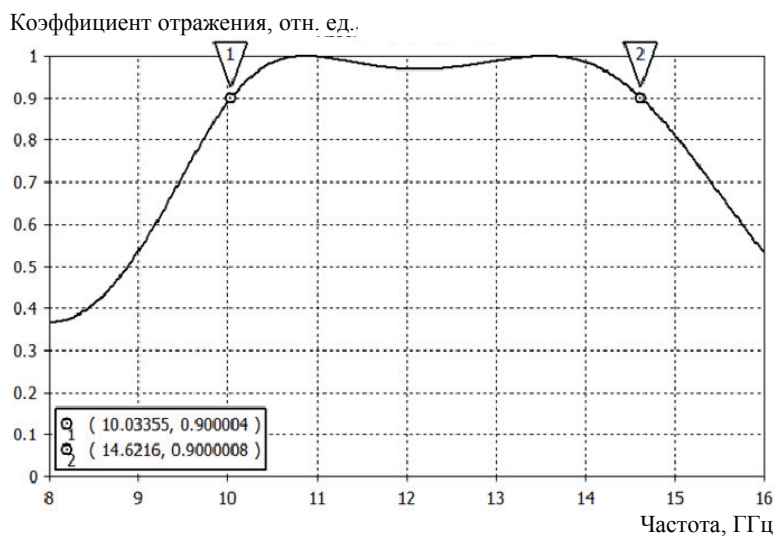


Рис. 2. График частотной зависимости коэффициента поглощения при прямом падении волны

Имитационное моделирование проводилось при условии падения волны под прямым углом к поверхности. Результатом проведенной симуляции является график частотной зависимости коэффициента поглощения (рис. 2). Из графика следует, что поглощение волны на уровне 90 % от общей энергии происходит в интервале от 10,03 до 14,62 ГГц. При нормальном падении волны на смоделированную поверхность происходит поглощение в частотной полосе шириной 4,59 ГГц.

Заключение

Активное развитие беспроводных сетей связи приводит к увеличению числа базовых станций и мобильных терминалов, что делает необходимым более детальное рассмотрение такого фактора загрязнения окружающей среды, как электромагнитное излучение. Результаты исследований различаются, но все ученые призывают принять меры для снижения уровня излучения. В настоящее время проводятся исследования для определения общей опасности электромагнитного воздействия на население, вызванного использованием технологий сотовой связи 3G, 4G и 5G. В стандарте связи 5G проводятся работы по снижению уровня электромагнитного излучения, поглощаемого организмом человека. Все это приводит к необходимости более тщательного наблюдения и контроля уровней электромагнитного излучения мобильных систем связи. В работе показаны технологии и методы, которые могут использоваться для снижения уровня излучения электромагнитных волн в мобильных сетях связи, что приведет к снижению негативного воздействия на человека и окружающую среду. Представлен пример поглощающей структуры в рамках технологии SAR shielding, показывающий эффективное поглощение в полосе частот шириной 4,59 ГГц.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности по проекту № FZNS-2023-0008.

Список литературы

1. Сведения о проникновении подвижной связи (статистические данные) : сайт Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – Текст: электрон. – URL : <https://digital.gov.ru/opendata/7710474375-proniknpodvsvyaz/> (дата обращения: 12.01.2024).
2. Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure in Everyday Microenvironments in Europe: A Systematic Literature Review / S. Sagar, S. Dongus, A. Schoeni [et al.] // Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology. – 2018. – Vol. 28, No. 2. – P. 147 – 160. doi:10.1038/jes.2017.13
3. 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
4. Черных, С. В. Анализ влияния микроволнового излучения сотовой связи на человека / С. В. Черных // Инновации в информатике. – 2018. – Т. 12, № 3. – С. 37 – 47.
5. Non-Invasive Estimation of Whole Body Averaged SAR by the Personal RF Dosimeter Measurements / R. K. Kwate, A. Derkaoui, B. Elmagroud [et al.] // 2019

- 7th Mediterranean Congress of Telecommunications (CMT). – Fez, Morocco, 2019. – P. 1 – 4. doi: 10.1109/CMT.2019.8931366
6. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2006. – 238 p.
7. International Committee on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Exposure to High Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (100 kHz – 300 GHz) / J. Juutilainen, I. Lagroye, J. Miyakoshi [et al.] // In book: Vecchia P., Matthes R., Ziegelberger G., Lin J., Saunders R., Swerdlow A. Review of Experimental Studies of RF Biological Effects (100 kHz – 300 GHz). – ICNIRP: Oberschleisheim, Germany, 2009. – P. 90 – 303.
8. Vijayalaxmi, I. International and National Expert Group Evaluations: Biological/Health Effects of Radiofrequency Fields / I. Vijayalaxmi, M. R. Scarfi // International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH). – 2014. – Vol. 11, No. 9. – P. 9376 – 9408. doi: 10.3390/ijerph110909376
9. Radio-Frequency Electromagnetic Field (RF-EMF) Exposure Levels in Different European Outdoor Urban Environments in Comparison with Regulatory Limits / D. Urbinello, W. Joseph, A. Huss [et al.] // Environment International. – 2014. – Vol. 68. P. 49 – 54. doi: 10.1016/j.envint.2014.03.007
10. Halgamuge, M. N. Reduced Growth of Soybean Seedlings after Exposure to Weak Microwave Radiation from GSM 900 Mobile Phone and Base Station / M. N. Halgamuge, K. Y. See, J. L. Eberhardt // Bioelectromagnetics. – 2015. – Vol. 36, No. 2. – P. 87 – 95. doi: 10.1002/BEM.21890
11. Panagopoulos, D. J. Real versus Simulated Mobile Phone Exposures in Experimental Studies / Panagopoulos D. J., O. Johansson, G. L. Carlo // Biomed Research International. – 2015. – No. 4. – P. 607053. doi: 10.1155/2015/607053
12. Influence of Microwave Frequency Electromagnetic Radiation on Terpene Emission and Content in Aromatic Plants / M. L. Soran, M. Stan, Ü. Niinemets, L. Copolovici // Journal of Plant Physiology. – 2014. – Vol. 171, No. 15. – P. 1436 – 1443. doi: 10.1016/j.jplph.2014.06.013
13. Electromagnetic Field Exposure Assessment in Europe Radiofrequency Fields (10 MHz – 6 GHz) / P. Gajšek, P. Ravazzani, J. Wiart [et al.] // Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology. – 2015. – Vol 25, No. 1. – P. 37 – 44. doi: 10.1038/jes.2013.40
14. Ahmed, A. J. Electromagnetic Radiation Evaluations of some Cellular Base Stations in Kasala / A. J. Ahmed, H. E. Idris // Journal of Electronics and Communication Engineering. – 2016. – Vol. 11, No. 1. – P. 53 – 60.
15. El Amrani, E. Specific Absorption Rate (SAR) in Humain Body Exposed to Wirless Base Station Fields / E. El Amrani, T. Mazri, N. Hmina // International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI). – Targoviste, Romania, 2017. – P. 1 – 5. doi: 10.1109/ECAI.2017.8166419
16. Sharma, A. B. A Review: Source and Effect of Mobile Communication Radiation on Human Health / A. B. Sharma, O. S. Lamba // Advances in Wireless and Mobile Communications. – 2017. – Vol. 10, No. 3. – P. 423 – 435.
17. SAR values of mobile phones : Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). – URL: https://www.bfs.de/EN/home/home_node.html (дата обращения: 12.0.2024).
18. Srivastava, A. Energy Efficient Transmission Trends Towards Future Green Cognitive Radio Networks (5G): Progress, Taxonomy and Open Challenges / A. Srivastava, M. S. Gupta, G. Kaur // Journal of Network and Computer Applications. – 2020. – Vol. 168, No. 1. – P. 102760. doi: 10.1016/j.jnca.2020.102760
19. Nasim, I. Analysis of Human EMF Exposure in 5G Cellular Systems / I. Nasim. – 2019. – 56 p.

References

1. available at: <https://digital.gov.ru/opendata/7710474375-proniknpodsvyaz/> (accessed 12 January 2024).
2. Sagar S., Dongus S., Schoeni A. [et al.] Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure in Everyday Microenvironments in Europe: A Systematic Literature Review, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 2018, vol. 28, no. 2, pp. 147-160. doi:10.1038/jes.2017.13
3. 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
4. Chernykh S.V. [Analysis of the influence of microwave radiation from cellular communications on humans], *Innovatsii v informatike* [Innovations in computer science], 2018, vol. 12, no. 3, pp. 37-47. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Kwate R.K., Derkaoui A., Elmagroud B. [et al.] Non-Invasive Estimation of Whole Body Averaged SAR by the Personal RF Dosimeter Measurements, *2019 7th Mediterranean Congress of Telecommunications (CMT)*, Fez, Morocco, 2019, pp. 1-4. doi: 10.1109/CMT.2019.8931366
6. *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*. IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2006, 238 p.
7. Juutilainen J., Lagroye I., Miyakoshi J. [et al.] International Committee on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Exposure to High Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (100 kHz–300 GHz), In book: Vecchia P., Matthes R., Ziegelberger G., Lin J., Saunders R., Swerdlow A. *Review of Experimental Studies of RF Biological Effects (100 kHz – 300 GHz)*, ICNIRP: Oberschleisheim, Germany, 2009, pp. 90-303.
8. Vijayalaxmi I., Scarfi M.R. International and National Expert Group Evaluations: Biological/Health Effects of Radiofrequency Fields, *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*, 2014, vol. 11, no. 9, pp. 9376-9408. doi: 10.3390/ijerph110909376
9. Urbinello D., Joseph W., Huss A. [et al.] Radio-Frequency Electromagnetic Field (RF-EMF) Exposure Levels in Different European Outdoor Urban Environments in Comparison with Regulatory Limits, *Environment International*, 2014, vol. 68, pp. 49-54. doi: 10.1016/j.envint.2014.03.007
10. Halgamuge M.N., See K.Y., Eberhardt J.L. Reduced Growth of Soybean Seedlings after Exposure to Weak Microwave Radiation from GSM 900 Mobile Phone and Base Station, *Bioelectromagnetics*, 2015, vol. 36, no. 2, pp. 87-95. doi: 10.1002/BEM.21890
11. Panagopoulos D.J., Johansson O., Carlo G.L. Real versus Simulated Mobile Phone Exposures in Experimental Studies, *Biomed Research International*, 2015, no. 4, pp. 607053. doi: 10.1155/2015/607053
12. Soran M. L., Stan M., Niinemets Ü., Copolovici L. Influence of Microwave Frequency Electromagnetic Radiation on Terpene Emission and Content in Aromatic Plants, *Journal of Plant Physiology*, 2014, vol. 171, no. 15, pp. 1436-1443. doi: 10.1016/j.jplph.2014.06.013
13. Gajšek P., Ravazzani P., Wiart J. [et al.] Electromagnetic Field Exposure Assessment in Europe Radiofrequency Fields (10 MHz – 6 GHz), *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 2015, vol 25, no. 1, pp. 37-44. doi: 10.1038/jes.2013.40

14. Ahmed A.J., Idris H.E. Electromagnetic Radiation Evaluations of some Cellular Base Stations in Kasala, *Journal of Electronics and Communication Engineering*, 2016, vol. 11, no. 1, pp. 53-60.
 15. El Amrani E., Mazri T., Hmina N. Specific Absorption Rate (SAR) in Humain Body Exposed to Wirless Base Station Fields, *International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Targoviste, Romania, 2017, pp. 1-5. doi: 10.1109/ECAI.2017.8166419
 16. Sharma A.B., Lamba O.S. A Review: Source and Effect of Mobile Communication Radiation on Human Health, *Advances in Wireless and Mobile Communications*, 2017, vol. 10, no. 3, pp. 423-435.
 17. SAR values of mobile phones : Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). available at: https://www.bfs.de/EN/home/home_node.html (accessed 12 January 2024).
 18. Srivastava A., Gupta M. S., Kaur G. Energy Efficient Transmission Trends Towards Future Green Cognitive Radio Networks (5G): Progress, Taxonomy and Open Challenges, *Journal of Network and Computer Applications*, 2020, vol. 168, no. 1, pp. 102760. doi: 10.1016/j.jnca.2020.102760
 19. Nasim I. *Analysis of Human EMF Exposure in 5G Cellular Systems*, 2019, 56 p.
-

Environmental Safety of Base Stations and User Terminals of Modern Communication Systems

L. G. Statsenko, M. M. Smirnova, N. B. Tsyrenova

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Keywords: base station; mobile terminal; energy flux density; maximum permissible levels; absorbed power; electromagnetic radiation.

Abstract: The issue of electromagnetic safety of base stations and subscriber terminals of modern communication systems is considered. The impact of electromagnetic fields created by communication equipment on human health and the environment is analyzed. An overview of international standards and recommendations on electromagnetic safety is provided, as well as a comparison of the impact of different generations of communication standards and existing mobile terminals from the point of view of environmental safety. Existing methods and technologies that can reduce the negative impact of electromagnetic radiation in the increasingly popular 5G mobile communications standard are considered. An example of the possible implementation of one of the methods for reducing the level of electromagnetic radiation affecting the human head when using mobile communications is given. Based on the analysis of the impact of electromagnetic radiation emanating from communication equipment on the human body and the environment, it was concluded that a more in-depth study of this issue and monitoring of electromagnetic radiation of mobile communication systems is necessary.

© Л. Г. Стаценко, М. М. Смирнова, Н. Б. Цыренова, 2024