

Электромагнитное загрязнение от радиочастотных источников и их воздействие на человека

Махасин Фра¹, В. Беляев^{1,2}, И. Леонисова³

УДК 537.87 | ВАК 05.11.01

Электромагнитное поле (ЭМП) и электромагнитное излучение (ЭМИ), особенно излучаемые в радиоволновом и микроволновом диапазонах, – существенные факторы загрязнения окружающей среды. Как показывает практика, их влияние увеличивается по мере распространения телевизоров, компьютерных мониторов, сотовых телефонов, электрических одеял, фотоаппаратов, микроволновых печей и других устройств, являющихся источниками ЭМП и ЭМИ. В статье рассматривается интенсивность ЭМИ в различных частотных диапазонах, обсуждается возможная его опасность для человека и животных.

По мере развития технологий, электронного и программного обеспечения сформировался еще один вид загрязнения окружающей среды – электромагнитное излучение, воздействию которого подвергаются люди и живые организмы. Человеку, независимо от его профессии и рода занятий, важно располагать достаточной информацией об электромагнитном загрязнении, излучаемом оборудованием. Рассмотрим эффекты источников ЭМИ, в основном неионизирующего излучения.

ЭМИ телекоммуникационных систем, микроволновых печей и других приборов зачастую игнорируется из-за низкого энергетического уровня. Однако оно представляет собой большую опасность в зависимости от продолжительности и интенсивности воздействия. Человек должен знать об опасности электромагнитного поля, внутри которого он находится, чтобы защитить себя.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Электромагнитные поля, излучаемые искусственными источниками, а также естественными источниками электрических и магнитных полей, распространены повсеместно. Примеры окружающих нас в повседневной жизни ЭМП с частотой излучения от 0,5 МГц до 6 ГГц приведены на рис. 1 [1].

Источник электромагнитного поля, расположенный очень близко к пользователю, может оказывать опасное воздействие в зависимости от интенсивности, длительности и частоты ЭМИ. Чем больше излучаемая энергия поля, тем выше частота и короче длина волны излучения. Рассмотрим различные источники ЭМИ.

¹ Российский университет дружбы народов.

² Московский государственный областной университет.

³ Учебно-досуговый центр «Эрудит», Московская обл., г. Лобня.

Электромагнитное излучение

ЭМ-излучение состоит в основном из двух компонентов: ионизирующего и неионизирующего. Ионизирующее излучение представляет собой высокочастотную ЭМ-волну с частотой выше 10^{15} Гц, способную ионизировать атомные связи в молекулах клеток. Например, к этой категории относятся рентгеновские, гамма- и УФ-лучи. В результате чрезмерного их воздействия существует опасность повреждения живых клеток и цепочки ДНК.

Неионизирующее излучение, не обладающее достаточной энергией для разделения атомных связей, характерно для видимого, инфракрасного, радиочастотного и микроволнового диапазонов спектра. Оно распределено в диапазоне частот от 1 Гц до 300 ГГц. Однако эти волны производят тепловые эффекты в зависимости от таких параметров, как расстояние, частота и время. В современных исследованиях обсуждаются и другие их эффекты.

Электромагнитный спектр

В настоящее время, в условиях индустриализации и развития технологий, возрастает значение электрической энергии. Помимо примеров, приведенных в начале статьи, следует отметить все более активное использование GSM и другого электрического оборудования, играющего важную роль в нашей жизни. Однако его вклад в формирование электромагнитного поля также возрастает [2, 3]. Поэтому в ходе исследований необходимо уделять большое внимание измерению его характеристик.

Воздействие радиочастотного излучения на здоровье

Влияние мобильных устройств

В современной литературе основное внимание уделяется изменениям в деятельности человеческого мозга,

когнитивным или другим нервно-поведенческим особенностям, связанным с воздействием радиоволн. Мозг расположен очень близко к антенне мобильного телефона, поэтому изучение воздействия на него высокочастотного (ВЧ) ЭМП представляет научную ценность. Еще одна исследуемая проблема связана с возможным риском развития рака головного мозга в результате воздействия ВЧ ЭМП мобильных телефонов.

Однако использование мобильных технологий, доступных человеку уже десятки лет, в последние годы расширяется. Позади относительно длительный период ожидания и мониторинга причин проявления опасных для жизни человека заболеваний. Симптомы болезней, о которых сообщается в литературе, можно объяснить гиперчувствительностью, проблемами со сном и головными болями. По данным медицины, они возникают из-за радиочастотного (РЧ) воздействия [4].

Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения (МКЗНИ, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) устанавливает ограничения и дает рекомендации в отношении воздействия ЭМП устройства. При этом определяется лимитируемая мощность поглощенной дозы на единицу массы. Англоязычный термин Specific energy Absorption Rate (SAR) можно перевести как мощность поглощенной дозы (МПД). Такой вариант предложили в публикации [5] сотрудники трех ведущих российских организаций в области дозиметрии – Медицинского радиологического научного центра Минздравсоцразвития России (Обнинск), Федерального медицинского биофизического центра им. А. И. Бурназяна ФМБА России и Института медико-биологических проблем РАН. Для характеристики поглощенной энергии традиционно применяется термин «Удельная поглощенная мощность» (УПМ).

МПД и УПМ (Specific Absorption Rate, SAR) определены как мера поглощения энергии излучения радиочастотного электромагнитного поля единицей массы человеческого тела или его ткани. Это же относится к другим видам энергии, поглощаемой биологическими тканями, в том числе ультразвуковой. МПД измеряется в Вт/кг. Обычно определяется среднее значение МПД для всего тела, типичная

масса в таком случае составляет один или десять граммов.

Методика калориметрического измерения МПД ЭМП частотой 450 МГц и ее распределения в организме в результате облучения мощностью 1 мВт/см² описана в литературе [6] для разных поляризаций поля и положений тела. Усредненное значение МПД составляет 0,050 ± 0,007 Вт/кг для всех видов поляризаций поля и положений тела, а пиковый показатель 0,650 Вт/кг характерен для запястий.

МПД от мобильного устройства должна быть ограничена 2 Вт/кг в массе 10 г – для головы и торса, 4 Вт/кг – для конечностей и 0,08 Вт/кг – для всего тела. Показатели рассчитаны с учетом средней продолжительности воздействия 6 мин [7]. Федеральная комиссия по связи (Federal Communications Commission) США установила предельную МПД от сотовых телефонов на уровне 1,6 Вт/кг [8].

По данным некоторых исследований, воздействие упомянутых величин МПД на массу, равную 400 г, чревато

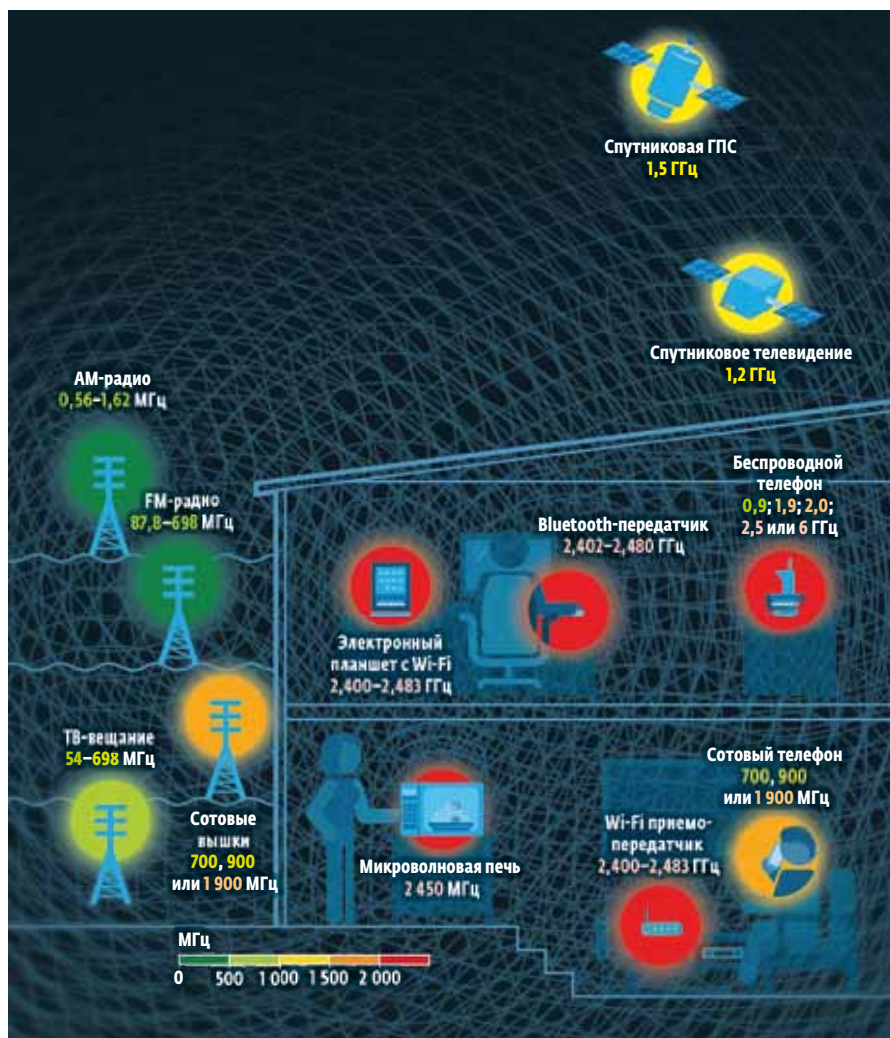


Рис. 1. Источники электромагнитных полей с частотой излучения от 0,5 МГц до 6 ГГц

повреждением кровеносных сосудов человека, вызывающим смерть в течение 48 ч. В большинстве случаев облучаемая масса не должна превышать 10–40 г, что снижает повреждение кровеносных сосудов за счет предотвращения потери жидкости и дисбаланса в некоторых клетках [9–11]. Ряд стран придерживается собственных протоколов. Предельный уровень облучения поверхности тела или его части не должен превышать значения 0,45 мВт/см², установленного МКЗНИ для мобильных телефонов. В некоторых странах, например США и Канаде, предусмотрен допустимый уровень воздействия до 0,57 мВт/см² [12].

Влияние Wi-Fi

Изучалось влияние на мышей радиочастотного излучения беспроводных устройств интернет-доступа Wi-Fi (с использованием стандарта 802.11.G на частоте 2,437 ГГц) как источников радиочастотных волн. Исследование показало, что ДНК животных повреждена. В экспериментальной группе были подтверждены низкие уровни лактозы, активности каталазы и глутатионпероксидазы. По мнению ученых, это может быть связано с радиочастотным воздействием на активность фермента [13].

Влияние ноутбуков

Ноутбуки (LPTS) излучают магнитное поле и электрические сигналы сложной формы. Согласно исследованиям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), такое электромагнитное воздействие вызывает

Таблица 1. Установленные МКЗНИ предельные уровни переменных электрических полей, воздействующих на человека

Диапазон частот, f	Напряженность электрического поля, В/м
До 1 Гц	-
1–8 Гц	10
8–25 Гц	10
0,25–0,8 кГц	250/f
0,8–3 кГц	250/f
3–150 кГц	87
0,15–1 МГц	87
1–10 МГц	87/f ^{1/2}
10–400 МГц	28
0,4–2 ГГц	1,375/f ^{1/2}
2–300 ГГц	61

симптомы гиперчувствительности: болезненность кожи и нервов [3], снижение зрения, одышку, несбалансированное сердцебиение, проблемы с вниманием и памятью, головные боли, усталость и тошноту, боль в конечностях, скованность мышц, ощущение жжения и др. [7, 9, 14].

В соответствии с нормами, установленными в законе о безопасности Министерства окружающей среды, горной добычи и пространственного планирования Республики Сербия [10], предельный уровень безопасности магнитного излучения ЭМП частотой f до 800 Гц пропорционален 2/f. Следовательно, его можно определить как критический уровень излучения, при котором окружающая среда небезопасна для человека. Предельные значения уровня безопасности находятся в диапазоне 0,2 и 0,4 мкТл [3, 12–14]. Упомянутый закон о безопасности дополнен актом «О защите от неионизирующего излучения» [10], устанавливающим условия риска и меры защиты в критических ситуациях. Следует отметить, что МКЗНИ определил безопасные значения ЭМП для людей в доме – 5/f, а для работников в организации – 25/f [15].

Влияние микроволновой печи

Для этого типа приборов МПД зависит от интенсивности поля, его поверхностной плотности мощности и некоторых других характеристик биологических тканей, таких как геометрия, размер, направление объекта, на который осуществляется воздействие, частота поля и время воздействия. Принцип современной дозиметрии в диапазоне частот примерно от 100 кГц до 10 ГГц был недавно пересмотрен. Его можно вычислить с помощью уравнения:

$$SAR = [dw / dt]. \tag{1}$$

Таблица 2. Основные ограничения МКЗНИ в отношении электрических и магнитных полей в диапазоне частот от 10 МГц до 10 ГГц для профессионального и общественного воздействия [15]

Уровень облученности		Профессиональное воздействие, Вт/кг	Публичное воздействие, Вт/кг
Усредненная МПД	Облучение тела в течение 6 мин	0,40	0,08
Усредненная МПД	Облучение любых 10 г тела человека (мозг, туловище) в течение 6 мин	10	2
Усредненная МПД	Облучение любых 10 г конечностей человека в течение 6 мин	20	4



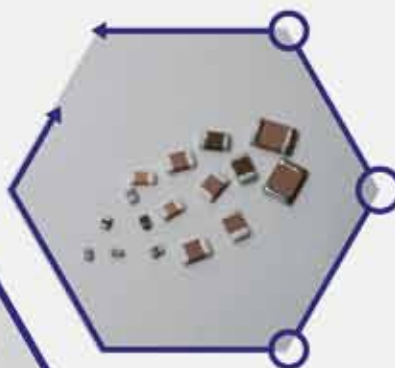
КУЛОН

общество с ограниченной ответственностью

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ И ПРОХОДНЫХ ФИЛЬТРОВ

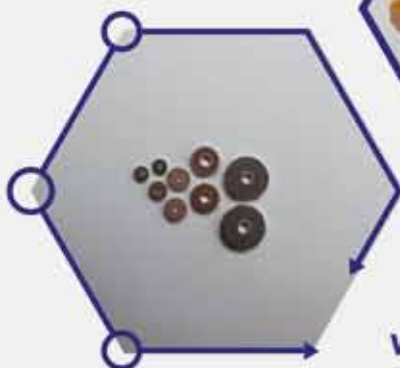
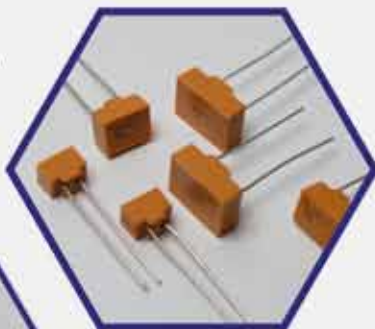
СЕРИЙНАЯ ПРОДУКЦИЯ:

- многослойные конденсаторы – К10-17, К10-42, К10-47, К10-50, К10-54, К10-57, К10-79, КМК;
- трубчатые конденсаторы – ТК, К10-51К, КТП, КТ-1Е;
- фильтры – Б14, Б23А, Б23Б, Б28, Б29, Б7-2, Б24.



РАЗРАБАТЫВАЕМАЯ ПРОДУКЦИЯ:

- варисторы ВР-18, ВР-19;
- фильтры Б36;
- конденсаторы К10-89, К10-90.



www.kulon.spb.ru

Официальный
поставщик



www.zolshar.ru

192019, г. Санкт-Петербург,
ул. Профессора Качалова, д. 3, литер К
Тел.: +7 (812) 317-33-04,
Факс: +7 (812) 412-61-63,
e-mail: office@kulon.spb.ru
sale@kulon.spb.ru

Таблица 3. Измерение ЭМП вблизи некоторых бытовых/офисных приборов/электронных устройств [7]

Устройство	Вблизи устройства		На расстоянии 1 м от устройства	
	Магнитное поле, мТл	Электрическое поле, В/м	Магнитное поле, мТл	Электрическое поле, В/м
Компьютер	1	1 500	0,1	300
Зарядное устройство ноутбука	6	800	0,4	50
Ноутбук	0,08	1 500	–	80

Другими словами, физические и электрические параметры МДП (SAR) могут быть рассчитаны следующим образом:

$$SAR = \sigma |E|^2 / 2\rho, \tag{2}$$

где w – поглощенная энергия в джоулях; E – напряженность электрического поля в В/м; σ – проводимость ткани в См/м; ρ – плотность ткани в кг/м³; m – масса ткани в кг.

В заключение отметим, что в настоящее время интенсивно разрабатываются способы защиты от электромагнитного загрязнения. Некоторые методы представлены в обзоре [17].

Работа по анализу влияния микроволнового и ТГц-излучения частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 19-07-00602_а.

ЛИТЕРАТУРА

- Scientific American, August 2011. P. 96. Графика Федеральной комиссии по связи (Federal Communications Commission).
- Gurgan D., Seyfi L.** Determination and analysis of electromagnetic pollution at two shopping malls in Konya at 100kHz-3GHz frequency // International Journal of Environment Science and Development (UESD). 2018. V. 9. No. 9. PP. 266–269.
- Sarikaya N. M.** Bir işyerinde elektromanyetik alan ölçümü yapılması ve sonuçlarının iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi // 2014. PhD Thesis. Turkey.
- Slottje P.** Exposure to electromagnetic fields (EMF) from mobile phone signals and effects on human brain activity and neurobehavioral performance // Environmental Health. IRAS, Utrecht University, Division EEPI. IRAS. 2010. 0357308.
- Петин В. Г., Григорьев О. А., Меркулов А. В., Григорьев Ю. Г., Труханов К. А.** Об одном российском термине (переводе SAR) в дозиметрии электромагнитного поля радиочастотного диапазона // Радиационная биология. Радиоэкология. 2012. Т. 52. № 5. С. 542–545.
- Guy A. W., Chou C.-K., Neuhaus B.** Average SAR and SAR Distributions in Man Exposed to 450-MHz Radiofrequency Radiation // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 1984. V. 32. No. 8. PP. 752–763. DOI: 10.1109/TMTT.1984.1132769.
- Fayed I.** Electromagnetic Radiation and its effects on human beings: Survey and Environmental Recommendations. <https://www.researchgate.net/publication/283510721>. May 2015.
- <https://www.fcc.gov/general/specific-absorption-rate-sar-cellular-telephones>
- Anyaka B. O., Akuru U. B.** Electromagnetic Wave Effect on Human Health: Challenges for Developing Countries // International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discover. IEEE Computer Society. 2012. DOI: 10.1109/CyberC.2012.81.
- Brodic D.** Measurement of the extremely low frequency magnetic field in the laptop neighborhood // Rev.fac.ing.univ. Antioquia. 2015. No. 76. DOI: 10.17533/udea.redin.n76a05.
- Kühn S., Kramer A., Lott U., Kuster N.** Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Radiation from Wireless Devices in Home and Office Environments // Proceedings International Workshop on Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences Switzerland, Geneva. 2005. June 15–16.
- Public Safety Tech. Topic #17 FCC.gov. [Online]. Available: <http://www.fcc.gov/print/node/34806>.
- Roy C.** Rapporteur's Report // Proceedings International Workshop on Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences Switzerland, Geneva. 2005. June 15–16.
- Atasoy H. I.** Immunohistopathologic demonstration of deleterious effects on growing rat testes of radiofrequency waves emitted from conventional Wi-Fi devices // Journal of Pediatric Urology. 2013. 9. 223e229.
- Taher M., Moradi S. M. J. M., Mansouri S., Hatam G. R., Nouri F.** Evaluation of the effect of radio frequency radiation emitted from wifi router and mobile phone simulator on the antibacterial susceptibility of pathogenic badena listeria monocytogenes and Escherichia coil // Journal.Sagepub.com/home/dos. 2017.1–8. DOI:10.1177.
- Avendaño C., Mata A., Sanchez Sarmiento C. A., Doncel G. F.** Use of laptop computers connected to internet through WiFi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation // Fertility and Sterility. 2012. V. 97. No. 1. PP. 39–45. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2011.10.012.
- Величко Д.** Современные материалы для защиты от воздействия магнитных полей промышленной частоты // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2015. № 9. С. 132–136.



ГРУППА КОМПАНИЙ

ЭЛЕКТРОННОЕ СПЕЦИАЛЬНОЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Акционерное общество
«Научно-производственное предприятие
«Электронное специальное
технологическое оборудование»

124460, г. Москва, Зеленоград,
Георгиевский проспект, д.5, стр.1
тел.: (499) 729-7751, факс: (499) 479-1239
info@nppesto.ru www.nppesto.ru

СИСТЕМА GROOVY ICP –
ТЕХНОЛОГИЯ БУДУЩЕГО
Для критического травления
диэлектриков на основе уникального
узкозазорного индуктивного плазменного
реактора для массового производства

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



Разработка АО «НПП «ЭСТО» при финансовой поддержке Министерства промышленности и торговли Российской Федерации

Группа компаний ЭСТО более 20 лет производит оборудование для микроэлектроники в собственном инженерно-производственном комплексе метражом в 5000 кв.м в г. Зеленограде



Оборудование для лазерной микрообработки:
резка, фрезерование, скрайбирование,
прошивка отверстий



Оборудование
для нанесения фоторезиста



Оборудование для измерения физических
и геометрических параметров



Сборочное оборудование