

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.396.1; 628.518
DOI: 10.18469/ikt.2024.22.3.12

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ: ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Сподобаев Ю.М.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: y.spodobaev@psuti.ru

В статье обсуждаются некоторые актуальные вопросы организации электромагнитной безопасности населения России, которые должны решаться в тесной кооперации со специалистами в области телекоммуникаций. Поводом для разработки новых подходов послужило развитие сетевых технологий, которое характеризуется радикальными изменениями структуры, топологии и принципов размещения излучающих объектов, возросшим в десятки тысяч раз количеством излучающих фрагментов на селитебных территориях, появлением принципиально новых интерактивных режимов работы оборудования, смещением рабочих частот ближе к инфракрасному излучению, а также другими факторами. Все это приводит к формированию новой электромагнитной реальности окружающей среды в виде многочастотного стохастического нестационарного электромагнитного процесса, что по времени и пространству принципиально изменяет условия контакта населения с воздействующим электромагнитным фактором. Обсуждается частотная зависимость электромагнитных воздействий, граница преобладающего поверхностного воздействия и уровень природного облучения. Решение этих вопросов определяет дальнейшее формирование стратегии и тактики организации электромагнитной безопасности населения и должно способствовать разработке корректного подхода к обоснованию регламентаций с последующим определением адекватных рекомендаций и мероприятий по защите населения.

Ключевые слова: электромагнитная безопасность, электромагнитная реальность, многочастотный стохастический нестационарный процесс, воздействующий фактор, частотная зависимость, граница преобладающего поверхностного воздействия, природный уровень

Введение

Немного истории. В отечественной санитарно-гигиенической науке и практике ярким этапом явились исследования Б.А. Минина в области радиогигиены СВЧ (сверхвысокие частоты), которые нашли свое отражение в монографии [1]. Эта работа была тайно от автора переведена американцами и даже дважды первой упоминалась в списках литературы в отчетах Всемирной организации здравоохранения. На основе уникальных по тем временам медико-биологических результатов этих исследований 36 лет спустя в России были разработаны и введены в действие методические Рекомендации МР 2.1.10.0061-12 [2]. По замыслу авторов рекомендации должны были стать уникальным документом, связывающим здоровье человека с уровнями и частотой электромагнитных полей. В таком виде он должен был привести к эффективной оценке степени влияния практически любых реальных уровней полей и обоснованию предельно-допустимых уровней (ПДУ). Однако, результаты исследований были искажены, и сложилась абсурдная ситуация – есть оригинал результатов научных

исследований и есть методические рекомендации со ссылкой на эти исследования, но они имеют расхождение в значениях поля в 1000 раз. Можно привести социальные примеры, когда искаженные материалы Рекомендаций провоцировали население на активные выступления против стремительного развития сетевых технологий связи на пути к появлению 5G и 6G.

Несмотря на наши многочисленные аргументы и многолетние обращения к авторам этого документа, например, [3; 4], допущенные искажения результатов исследований и трактовки ПДУ не устранялись и попросту игнорировались.

В ситуации, когда возникла угроза моратория и ограничений развития технологий 5G и 6G в России (такой сценарий развивался в Петербурге), автор статьи был вынужден доложить этот вопрос на публичном мероприятии в Совете Федерации России 12 декабря 2023 года. Ситуация не изменилась, документ МР 2.1.10.0061-12 доступен на сайте Роспотребнадзора и на множестве других информационных сайтах, и продолжает оказывать свое провокационное влияние. Нужна официальная конкретная реакция «хозяина» этого документа.

Этот пример отношения к Самарской школе электромагнитной безопасности (ЭМБ), которая несколько десятилетий успешно сопровождала с научно-технических позиций (обсуждала, участвовала в создании и рецензировала) разработку практически всех нормативно-методических документов по ЭМБ телекоммуникационных технологий, показывает несостоятельность позиции разработчиков в плане отказа от взаимодействия с техническими специалистами при создании подобных документов. Упомянутые Рекомендации – это один из первых несогласованных с ними документов.

В настоящее время мы наблюдаем лавинно нарастающий интерес к развитию сетевых технологий, который во многом определяется необходимостью обеспечения технологического суверенитета России. При этом часто необоснованно обостряются вопросы ЭМБ населения. Причиной тому стало формирование абсолютно новой электромагнитной реальности окружающей среды, которая стала представлять собой сплошной слой доступных для приема «мерцающих» радиоканалов, формируемых контролируемыми и неконтролируемыми излучающими фрагментами сетевых технологий, хаотически распределяемыми на селитебных территориях. Как результат, принципиально по времени и пространству изменились условия контакта населения с воздействующим электромагнитным фактором, в качестве которого стал выступать многочастотный стохастический нестационарный электромагнитный процесс [4].

Именно признание новой электромагнитной реальности окружающей среды – это глубокое осознание масштабности предстоящих изменений в регламентациях, управлении, контроле и методологии электромагнитного мониторинга.

К сожалению, несмотря на обновившуюся электромагнитную реальность, которая поставила массу вопросов перед обществом, наукой и властью, никто не собирается изменять суще-

ствующие несколько десятилетий санитарно-гигиенические правила, традиции и нормы, некоторые из которых в новых электромагнитных условиях представляются просто абсурдными. Далее приводим примеры таких ситуаций.

Частотная зависимость ПДУ выше 300 МГц

Напомню [4], что действующий норматив 10 мкВт/см^2 , несмотря на свой «преклонный возраст», воспринимается как догма, т.е. положение, принимаемое на веру за непреложную истину, неизменную при любых обстоятельствах.

На рисунке 1 приведена схема природного спектра электромагнитных излучений, на которой отмечены характерные для обсуждаемой проблемы частоты.

300 МГц – это частота, до которой в инженерно-технической практике и санитарно-гигиеническом нормировании принято характеризовать электромагнитные поля в единицах напряженности поля – электрической (В/м) и магнитной (А/м). Именно с этой частоты начинается нормирование полей в единицах плотности потока энергии (ППЭ), и для нее был установлен ПДУ равный 10 мкВт/см^2 . До частоты 300 МГц признавалась существенная частотная зависимость электромагнитных воздействий, что отражалось на значениях ПДУ каждого диапазона частот как у нас, так и за рубежом.

300 ГГц – с развитием сотовой связи осуществлялся переход сетевых технологий от поколения к поколению, а это сопровождалось переходом на все более высокие частоты. При этом отечественное санитарно-гигиеническое нормирование при полном отсутствии проблемно ориентированных исследований, отслеживая развитие технологий, аккуратно сдвигало верхний частотный предел применимости ПДУ равный 10 мкВт/см^2 , постепенно доведя его до этой частоты и игнорируя его очевидный частотнозависимый характер.

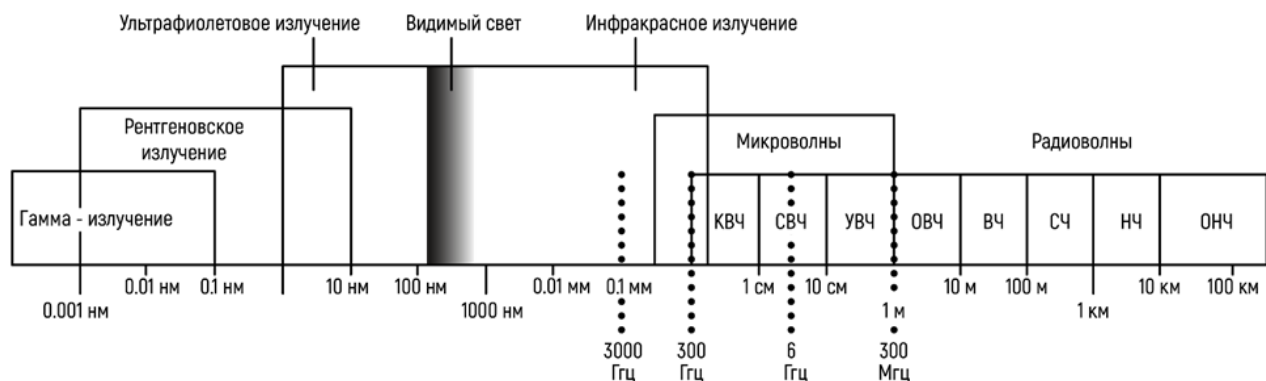


Рисунок 1. Схема природного спектра электромагнитных излучений

3000 ГГц – сейчас речь идет уже о поколении 6G, в котором будет обеспечиваться скорость передачи данных от 1 Тбит/сек, а это в радиочастотном диапазоне можно реализовать только посредством перехода именно на частоты такого порядка. Поскольку при переходе к этим частотам при взаимодействии с веществом меняется только толщина скин-слоя, логично ожидать, что значение ПДУ не изменится.

Автор в дискуссиях и обсуждениях всегда наталкивается на необъяснимое упорство оппонентов медико-биологического профиля, не допускающих даже мысли об изменении этой величины, чаще всего аргументируя это достижениями отечественной науки и негуманными коррупционными заблуждениями зарубежных исследователей.

На рисунке 2 приведено сравнение ПДУ отечественных (СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03) и зарубежных (ICNIRP) на частотах выше 300 МГц [5]. С массовым появлением на селитебных территориях источников излучения в СВЧ и КВЧ (крайне высокая частота) диапазонах мы просто продлили действие имеющегося ПДУ на эти диапазоны, а зарубежные исследователи выявили причины, которые позволили увеличить его в 5 раз, доведя

отличие наших и зарубежных ПДУ с 20 до 100 раз, что отчетливо видно на графиках.

Пренебрежение очевидной частотной зависимостью взаимодействия биологических объектов и электромагнитного поля в диапазоне более 300 МГц дискредитирует и без того спорный ПДУ в этих диапазонах, который при своей стойкости становится явным препятствием на пути развития технологий.

Глубина проникновения в биологические ткани

«Однако в связи с разной биологической эффективностью микроволн различной длины должны быть введены дифференцированные нормы. Кроме того, должны учитываться также режим облучения людей, характер модуляции и другие параметры» - констатировала наука прошлого века [6]. В первую очередь «биологическая эффективность» зависит от глубины проникновения электромагнитной энергии в вещество – биологические ткани. «Глубина проникновения электромагнитного излучения в объект является важной характеристикой, поскольку, для того чтобы излучение вызвало биологический эффект, оно должно проникнуть в ткани» - утверждает учебник по радиобиологии [7]. Конечно же, при

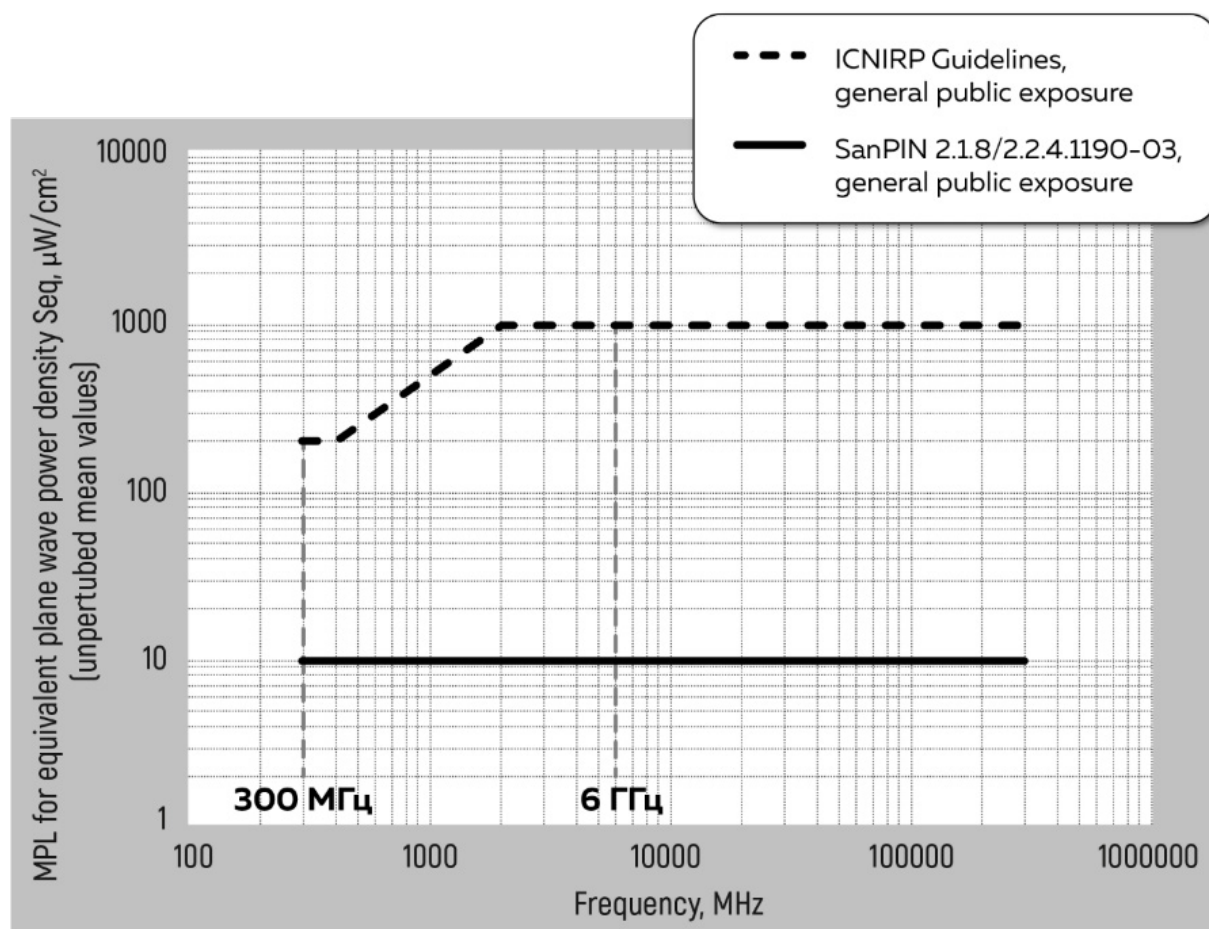


Рисунок 2. Российские и зарубежные ПДУ электромагнитных полей выше 300 МГц [5]

характерной для биологических объектов физической и электрической неоднородности тканей, выявляются точки частотного диапазона, в которых происходят различные резонансные явления в отдельных частях тела, отдельных органах, участках и в объемах, соизмеримых с длиной падающей волны. Эти явления, сдвигаясь на клеточный и молекулярные области, только подтверждают закономерности электродинамики многослойных сред.

Некоторые результаты исследований частотной зависимости глубины проникновения электромагнитных полей в тело человека на «трехмерной модели расчета поглощения, опубликованы Исследовательской лабораторией ВВС США (AFRL) на симпозиуме НАТО по оружию радиочастотной направленной энергии, состоявшемся в Копенгагене, Дания, 16-17 мая 2024 года», и приведены на рис. 3, где указаны направление падения, поляризация и частоты падающей волны [8]. Видим, что:

- на частотах до 70 МГц (длина волны λ составляет порядка 4,2 м) электромагнитное поле проходит через человека, естественно, с каким-то затуханием;
- начиная с частот 200 МГц ($\lambda = 1,5$ м), электромагнитное поле уже не способно пронизывать тело человека насквозь, и вся энергия поглощается в объеме тела;
- на частотах до 1 ГГц ($\lambda = 30$ см) наблюдаются резонансные явления в голове;
- на частотах вблизи 3 ГГц ($\lambda = 10$ см) электромагнитная энергия локализуется на освещенной стороне тела до глубины 5 см;
- где-то к 6 ГГц ($\lambda = 5$ см) и далее глубина проникновения, постепенно уменьшаясь, становится менее 1 мм.

Кстати, рисунок 3 – это только один из примеров, который иллюстрирует несостоятельность

переноса на человека результатов исследований влияния электромагнитных полей на мелких животных в микроволновом диапазоне, рекомендованных в [9]. К сожалению, с этим документом до его появления технические специалисты тоже ознакомились не были. Ряд положений этого документа указывает на невозможность реализации предлагаемых экспериментов на мелких животных в микроволновом диапазоне.

Возвращаясь к характерным для обсуждаемой проблемы частотам на рисунке 1, отметим величину:

6 ГГц – эта частота в документах ICNIRP принята в качестве граничной частоты перехода к преобладающему поверхностному воздействию – более 86% мощности на частотах выше 6 ГГц рассеивается на поверхности взаимодействия [10]. На этих частотах нет контакта внутренних органов и тканей организма, как вещества, с другой формой материи – полем по простой причине его отсутствия. Отметим, что в настоящее время медико-биологические исследования воздействия электромагнитных полей акцентируются на клеточном и молекулярном уровне, на котором в реальности не происходит контакта внутренних тканей и органов с полем, тем не менее результаты обобщаются на организм в целом.

Эти ярко выраженные явления и эффекты на границе раздела соответствуют основным физическим представлениям электродинамики, однако они не нашли отражение при формировании ПДУ в отечественных нормативных документах (рисунок 2). Тысячекратный частотный диапазон (от 300 МГц до 300 ГГц) использования ПДУ, разработанного более 50 лет назад, с точки зрения отечественной санитарно-гигиенической науки отрицает очевидную частотную зависимость взаимодействия биологических объектов и электромагнитных полей.

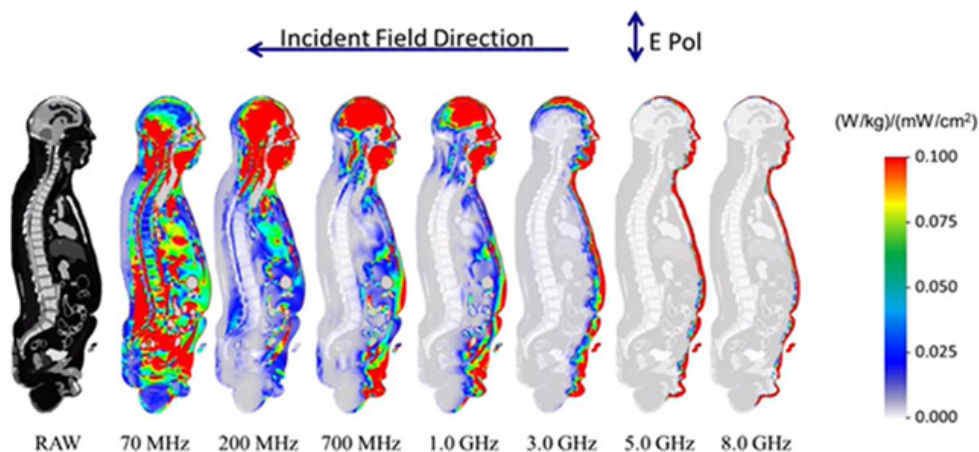


Рисунок 3. Результаты исследований AFRL частотной зависимости глубины проникновения электромагнитных полей в тело человека [8]

Естественный ПДУ

Антропогенная электромагнитная обстановка на селитебных территориях последние десятилетия изменяется в сторону доминирования электромагнитных полей СВЧ диапазона, и причиной этого является бурное развитие и смена поколений сетей связи. Эта тенденция сохраняется и, более того, ожидается (6G) дальнейшее смещение приоритетов используемых частот в диапазон КВЧ и выше. Таким образом, уверенно осваивается низкочастотная часть диапазона инфракрасного излучения (рисунок 1), который используется природой для передачи энергии Солнца на Землю.

Известно, что создаваемая Солнцем ППЭ на уровне моря на экваторе достигает 1000 Вт/м^2 , а усредненное по земной поверхности и времени значение ППЭ составляет порядка 170 Вт/м^2 [11], причем во время вспышек на Солнце эти значения увеличиваются. Ориентируясь на энергетическую оценку спектра излучения Солнца (рисунок 4), можно принять, что доля инфракрасного излучения 52%, что составляет для приведенных выше значений 520 и 88 Вт/м^2 , соответственно. Для средних широт усредненную величину реально принять равной 100 Вт/м^2 , что в пересчете на привычную для санитарно-гигиенической практики размерность будет составлять 10 мВт/см^2 .

Человечество постоянно облучается такими и более высокими уровнями естественного электромагнитного поля диапазонов КВЧ и инфракрасного излучения. По мнению автора, клинические исследования, проводимые природой продолжительностью тысячелетия со средними природными уровнями облучения человека порядка 10 мВт/см^2 , могут стать основой для приня-

тия решения о санитарно-гигиеническом нормировании антропогенных полей в обсуждаемых и прилегаемых диапазонах. Естественно, что ПДУ электромагнитных полей антропогенных источников в этих диапазонах не может быть меньше уровня естественных источников излучения в 1000 раз, как принято сейчас в отечественной санитарно-гигиенической практике.

Если к этой величине применить традиционное правило десятикратного гигиенического запаса, то мы получаем ПДУ равный 1 мВт/см^2 . Такой и близкий к такому ПДУ имеют страны: США и Япония – 1 мВт/см^2 , Канада – $0,4 \text{ мВт/см}^2$, Китай – $0,1 \text{ мВт/см}^2$. Эти значения, обоснованные с позиций воздействия природных факторов, из категории нереальных и опасных уровней превращаются в аналитически обоснованные, нормальные и понятные нормы, позволившие зарубежным сетевым технологиям опережающими нас темпами бесконфликтно переходить от поколения к поколению. Гармонизация национальных норм, которая несколько десятилетий обсуждается у нас в стране, достижима, если мы в спокойной обстановке разберемся с частотной зависимостью электромагнитных воздействий, границей преобладающего поверхностного воздействия и уровнем природного облучения.

Заключение

Рассмотренные в статье вопросы к регламентациям электромагнитных полей находятся на стыке, с одной стороны, радиофизических и радиотехнических, с другой стороны – медико-биологических проблем. Именно эти вопросы актуализировались в связи переходом работы современных систем связи в диапазоны СВЧ и КВЧ,

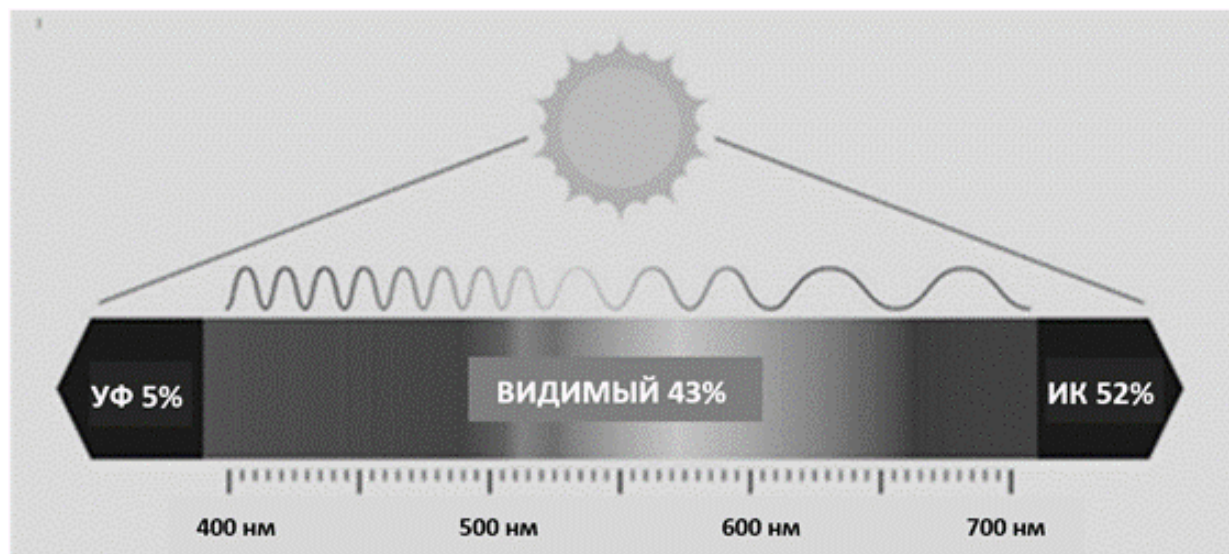


Рисунок 4. Энергетическая оценка спектра излучения Солнца [11]

которые граничат и даже совпадают с инфракрасным излучением, и они определяют дальнейшее формирование стратегии и тактики организации ЭМБ населения.

Представленные к обсуждению аргументы и положения радиопизики, хорошо известные и понятные для одной стороны, совершенно не воспринимаются стороной медико-биологических проблем. Несмотря на радикальные изменения структуры, топологии и принципов размещения излучающих объектов, возросшее в десятки тысяч раз количество излучающих фрагментов на селитебных территориях, принципиально новые интерактивные режимы работы оборудования, смещение рабочих частот ближе к инфракрасному излучению и другие факторы, реализуется абсурдный сценарий незыблемости существующих норм и регламента организации защиты населения от электромагнитных полей.

В статье обсуждены только три критических вопроса к организации ЭМБ населения России – это частотная зависимость электромагнитных воздействий, граница преобладающего поверхностного воздействия и уровень природного облучения. Решение этих вопросов должно способствовать организации корректного подхода к обоснованию ПДУ с последующей разработкой адекватных рекомендаций и мероприятий по защите населения.

Технический прогресс неизбежен, и человек, участвуя в нем, должен быть защищен от техногенных факторов, воздействующих на него и окружающую среду. Эта сложнейшая задача должна решаться не путем компромисса между отдельными специалистами и ведомствами, а на основе серьезных научно-исследовательских работ, либо путем проведения анализа известных фактов, результатов и достижений науки. Ошибки и промахи в этой, казалось бы, рядовой экологической проблеме ЭМБ в лучшем случае приводят к отставанию развития отечественных технологий связи, а в худшем – к отставанию навсегда.

Литература

1. Минин Б.А. СВЧ и безопасность человека. М.: Советское радио, 1974, 352 с.
2. МР 2.1.10.0061-12. Оценка риска для здоровья населения при воздействии переменных электромагнитных полей (до 300 ГГц) в условиях населенных мест: методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013. 35 с.
3. Сподобаев Ю.М. Социальные последствия фальсификации научных материалов в области электромагнитной безопасности // Электросвязь. 2021. № 2. С. 21–25.
4. Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М. Электромагнитная реальность окружающей среды // Электросвязь. 2024. № 1. С. 10–16.
5. Григорьев О.А. Актуальные вопросы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений в связи с развитием новых технологий // Актуальные проблемы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений: материалы Всероссийской научной конференции. М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 2019. С. 104–109.
6. Влияние СВЧ-излучений на организм человека и животных / под ред. И.Р. Петрова. Л.: Медицина. Ленинградское отделение, 1970. 230 с.
7. Кудряшов Ю.Б., Перов Ю.Ф., Рубин А.Б. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения: учебник для вузов. М.: Физматлит, 2008. 181 с.
8. Неионизирующие излучения: радиобиология и гигиена. URL: <https://t.me/bioemf/556> (дата обращения: 05.01.2025).
9. МУ 4.3.3939-23. Методические указания по определению предельно допустимых уровней микроволновых излучений для населения. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2023. 16 с.
10. Сподобаев Ю.М. Электромагнитная безопасность современных беспроводных технологий: документы ICNIRP // Электросвязь. 2020. № 4. С. 21–24.
11. Сурдин В.Г. Планеты земной группы. URL: <https://scfh.ru/lecture/planety-zemnoy-gruppy/?sa=X&ved=2ahUKEwi30tbVn7XoAhULFM0KHZNKAKgQ9QF6BAgFEAI> (дата обращения: 02.01.2025).

Дата поступления 16.01.2025

Дата принятия 17.02.2025

Сподобаев Юрий Михайлович, д.т.н., профессор, советник Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 917 150-06-41. E-mail: y.spodobaev@psuti.ru

ELECTROMAGNETIC REALITY: FREQUENCY DEPENDENCE OF IMPACTS*Spodobaev Yu.M.**Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation**E-mail: y.spodobaev@psuti.ru*

The article discusses some topical issues of organizing electromagnetic safety of the population of Russia, which should be solved in close cooperation with telecommunication specialists. The reason of search for new approaches is the development of network technologies, which is characterized by radical changes in the structure, topology and principles of placement of radiating objects, increase in the number of radiating fragments in residential areas by tens of thousands of times, use of the fundamentally new interactive modes of equipment operation, as well as a shift in operating frequencies closer to infrared radiation and other factors. All this leads to the formation of a new electromagnetic reality of the environment in the form of a multi-frequency stochastic non-stationary electromagnetic process, which fundamentally changes the conditions of contact of the population with the influencing electromagnetic factor in time and space. The frequency dependence of electromagnetic effects, the boundary of the prevailing surface effect and the level of natural irradiation are discussed. The solution to these issues determines the further formation of the strategy and tactics of organizing electromagnetic safety of the population and should contribute to a correct approach to the justification of regulations with the subsequent development of adequate recommendations and measures to protect the population.

Keywords: *electromagnetic safety, electromagnetic reality, multi-frequency stochastic non-stationary process, influencing factor, frequency dependence, boundary of prevailing surface impact, natural level*

Spodobaev Yuri Mikhailovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Advisor, Doctor of Technical Sciences, Professor. Tel. +7 917 150-06-41. E-mail: y.spodobaev@psuti.ru

References

1. Minin B.A. *Microwave and Human Safety*. Moscow: Sovetskoe radio, 1974, 352 p. (In Russ.)
2. MR 2.1.10.0061-12. Health risk assessment of population exposed to alternating electromagnetic fields (up to 300 GHz) in populated areas: guidelines. Moscow: Federal'nyj centr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2013, 35 p. (In Russ.)
3. Spodobaev Yu.M. Social consequences of falsification of scientific materials in electromagnetic safety. *Elektrosvyaz'*, 2021, no. 2, pp. 21–25. (In Russ.)
4. Maslov M.Yu., Spodobaev Yu.M. Electromagnetic reality of the environment. *Elektrosvyaz'*, 2024, no. 1, pp. 10–16. (In Russ.)
5. Grigoriev O.A. Actual issues of radiobiology and hygiene of non-ionizing radiation in connection with the development of new technologies. *Aktual'nye problemy radiobiologii i gigieny neioniziruyushchih izluchenij: materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii*. Moscow: Rossijskij nacional'nyj komitet po zashchite ot neioniziruyushchih izluchenij, 2019, pp. 104–109. (In Russ.)
6. *The Influence of Microwave Radiation on the Human and Animal Organisms*. Ed. by I.R. Petrov. Leningrad: Medicina. Leningradskoe otdelenie, 1970, 230 p. (In Russ.)
7. Kudryashov Yu.B., Perov Yu.F., Rubin A.B. *Radiation Biophysics: Radiofrequency and Microwave Electromagnetic Radiation*: Textbook for Universities. Moscow: Fizmatlit, 2008, 181 p. (In Russ.)
8. Non-ionizing radiation: radiobiology and hygiene. URL: <https://t.me/bioemf/556> (accessed: 05.01.2025).
9. MU 4.3.3939-23. Guidelines for determining maximum permissible levels of microwave radiation for the population. Moscow: Federal'nyj centr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2023, 16 p. (In Russ.)

-
10. Spodobaev Yu.M. Electromagnetic security of modern wireless technologies: ICNIRP documents. *Elektrosvyaz'*, no. 4, pp. 21–24. (In Russ.)
 11. Surdin V.G. Terrestrial planets. URL: <https://scfh.ru/lecture/planety-zemnoy-gruppy/?sa=X&ved=2ahUKEwi30tbVn7XoAhULFM0KHZHKAKgQ9QF6BAgFEAI> (accessed: 02.01.2025).

Received 16.01.2025

Accepted 17.02.2025