



А.С. Дмитриев

**Развитие мобильных сетей связи:
Надежды и проблемы**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Дмитриев А.С. Развитие мобильных сетей связи: Надежды и проблемы // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 4-й Международной конференции (4-5 февраля 2021 г., Москва). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2021. — С. 139-146. — <https://keldysh.ru/future/2021/12.pdf> <https://doi.org/10.20948/future-2021-12>

Размещено также [видео выступления](#)

Развитие мобильных сетей связи: Надежды и проблемы

А.С. Дмитриев

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Аннотация. Рассматривается одна из серьезных проблем, сопровождающих развитие мобильных средств связи – воздействие электромагнитного излучения на живые организмы, включая человека.

Ключевые слова: электромагнитное поле, биологические объекты, мобильные системы связи

Development of mobile communication networks: Hopes and problems

A.S. Dmitriev

RAS Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics

Abstract. One of the serious problems accompanying the development of mobile communications is considered – the effect of electromagnetic radiation on living organisms, including humans.

Keywords: electromagnetic field, biological objects, mobile communication systems

Сложность биологических и социальных систем и мобильные беспроводные системы связи

В середине 1980-х гг. рядом ведущих исследователей была выдвинута и реализована идея создания специального института (Santa Fe Institute-SFI) для изучения проблем сложности (complexity). Этот институт сыграл видную роль в становлении науки об изучении сложных объектов и субъектов. Цель исследований SFI хорошо выражает высказывание одного из его сотрудников Х. Пагельса (H. Pagels): «Я убежден, что нации и люди, овладевшие новой наукой о сложности, станут экономической, культурной и политической сверхдержавой следующего века».

Мобильные сети связи в наше время стали одним из главных инструментов реализации этой мысли. Их развитие вместе с очевидными и не

очень новыми возможностями и достоинствами затрагивает ряд проблем, перспективы решения которых не выглядят слишком радужными. Одна из этих проблем рассматривается в этом докладе и связана с тем, что биологические объекты, в частности люди, подвергаются воздействию электромагнитного микроволнового излучения базовых станций и персональных устройств мобильных систем связи и взаимодействуют с этим излучением.

Биологические системы и электромагнитное излучение

Проблема взаимодействия электромагнитных полей (ЭМП) была осознана практически сразу после появления первых радиосредств. Один из ее активных исследователей Александр Гаврилович Гурвич, подводя итоги своих многолетних работ, писал в предисловии к своей книге «Теория биологического поля» [1]: «...Я выпускаю в свет эту небольшую монографию не без некоторых колебаний. Разработка основных представлений о биологическом поле ведется мной, правда, с частыми и длительными многолетними перерывами, уже на протяжении 30 лет, тем не менее предлагаемая теперь редакция является в сущности лишь новым, возможно и не решающим этапом эволюции основной идеи поля, правда, этапом, знаменующим собой резкий поворот моей первоначальной концепции.

В значительной степени речь идет скорее о программе для возможных новых и, как мне кажется, многообещающих направлений в биологии, чем об уже достигнутых результатах. Именно этот основной характер моей работы и оправдывает, как мне кажется, ее опубликование: моя цель будет вполне достигнута, если хотя бы немногие из моих будущих читателей заинтересуются реализацией той или иной из намеченных в монографии проблем...»

А.Г. Гурвич был далеко не единственным ученым, который интересовался в те уже далекие годы проблемой взаимодействия полей, прежде всего электромагнитных, и биологических объектов. Примерно к этому же и несколько более позднему времени относятся исследования Бернарда Бернардовича Кажинского, представленные им в книге «Биологическая радиосвязь» [2]. В аннотации к книге говорится, что книга посвящена интереснейшему вопросу современной науки – природе и сущности некоторых явлений электромагнитного общения между живыми организмами. Отмечается, что этот вопрос мало освещен в мировой научной литературе, вызывает горячие споры и дискуссии, однако единой установившейся точки зрения по этому поводу еще нет.

В самом начале прошлого столетия физик и инженер-электрик Б. Кажинский выдвинул гипотезу о том, что человеческий мозг излучает радиоволны, которые он может передавать мозгу другого живого существа. Ученый взялся за разработку «мозгового радио», способного превращать мозговые импульсы в звуковые сигналы, которые можно передавать на большие расстояния. Кажинский успешно выступал с лекциями о своем

4. Технологические перспективы цифрового мира

открытии в лучших европейских и американских университетах, а также провел ряд показательных экспериментов в Канаде.

17 марта 1924 г. в Москве, в присутствии специально созданной комиссии, был проведен эксперимент, в ходе которого при помощи низкочастотного излучателя оператор внушал одной из собак цирка Владимира Дурова приказ пойти в соседнюю комнату, выбрать из стопки определенную книгу и отнести ее хозяину. К изумлению присутствующих, опыт удался. Успешными оказались и эксперименты, в которых участвовали другие цирковые собаки. Однако все это возымело неожиданный эффект: когда эксперимент завершился, животные перестали подчиняться устным командам дрессировщиков: видимо, в их мозгу что-то «перемкнуло». В конце концов, опыты над собаками пришлось прекратить.

Следует отметить, что исследования в области взаимодействия электромагнитных волн и биологических объектов велись интенсивно в ведущих странах не только отдельными учеными, но и в рамках больших проектов.

Так в 1941-44 гг. в Германии в Институте физики сознания из системы Ананербе был реализован проект «Тор», названный в честь одного из древнегерманских богов. Данных по этому проекту чрезвычайно мало, но и по ним можно судить, что успехи фашистов уже позволяли им перейти от сугубо научных исследований к применению пси-излучателей на практике. К началу 1944 г. полтора десятка пси-генераторов (генераторов электромагнитного излучения) и сеть мачт-ретрансляторов были развернуты по всей Германии. Они днем и ночью передавали один и тот же ментальный приказ: боевой дух, преданность фюреру, воля к победе. Начиная с этого момента, упаднические настроения среди немцев резко пошли на убыль, они вновь с воодушевлением внимали речам доктора Геббельса и готовились умирать за великую Германию. Однако пси-обработка не могла восполнить потери. Войска союзников по антигитлеровской коалиции наступали.

В СССР в 1954-77 гг. была создана установка «Радиосон», способная при воздействии в течение нескольких минут приводить к засыпанию людей на значительных площадях.

Широкий фронт работ проводился в этом направлении, начиная не позже 1950 г. в США в рамках проектов «МК-Ультра», «Артишок», «Синяя птица», «МК-Поиск». В 1977 г. в этом направлении работало уже 140 исследовательских лабораторий. Основная организация – Центр перспективных физических исследований

Постепенно сформировалось убеждение, что проблема носит комплексный и системный характер. В Советском Союзе заметным событием, фиксирующим эту идею, стал выход книги Александра Самуиловича Пресмана «Электромагнитные поля и живая природа» [3].

В аннотации к книге говорилось, что книга посвящена постановке и обоснованию новой биологической проблемы о существенной роли в жи-

вой природе электромагнитных полей инфранизкочастотного, низкочастотного и радиочастотного диапазонов. В основу постановки этой проблемы автором положено предположение о существовании трех видов передачи информации при помощи этих полей в живой природе: из внешней среды в организмы, внутри самих организмов, и, наконец, между организмами.

В книге был проведен обзор практически всех, представляющих научный интерес, имевшихся на тот момент времени, экспериментальных и теоретических данных о действии электромагнитных полей разных частот на организмы самых различных видов – от одноклеточных до человека, об эффектах таких полей на различных уровнях организации – молекулярном, клеточном, органном и организменном. Рассмотрены возможности использования этих эффектов на практике – в медицине, сельском хозяйстве, биологических исследованиях, в решении некоторых задач бионики и др.

Анализируя экспериментальные данные в разрезе концепции об информационных функциях электромагнитных полей, автор высказал ряд гипотез по поводу не выясненной еще природы некоторых взаимосвязей внутри живых организмов, о возможных причинах некоторых загадочных пока особенностей в поведении животных и их взаимоотношении в сообществах.

Следующий этап по изучению электромагнитных полей в связи с биологическими объектами связан с двумя событиями: проектом по изучению собственных полей излучения человека (Ю.В. Гуляев, Э.Э. Годик [4]), в котором впервые комплексно изучались различные типы полей, излучаемые человеком (в первую очередь, тепловое, электромагнитное и акустическое излучение), а также многолетняя работа научного коллектива под руководством Н.Д. Девяткова по исследованию воздействия электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на биологические объекты, включая человека [5,6]. Начальные идеи по этой программе были высказаны Н.Д. Девятковым в докладе «Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн на биологические объекты» на научной сессии отделения общей физики и астрономии АН СССР в январе 1973 года [5]. В докладе отмечалось, что «...Несколько лет назад в организациях Министерства электронной промышленности СССР и в Институте радиофизики и электроники АН УССР (Харьков) были закончены разработки генераторов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн типа ламп обратной волны, дающих возможность плавно изменять частоту генерируемых колебаний в широких пределах. На базе разработанных генераторов миллиметровых волн были созданы специализированные установки для проведения биологических исследований. Начиная примерно с 1965 г., в ряде организаций СССР начались систематические исследования воздействия миллиметровых волн на биологические объекты. Эксперимен-

4. Технологические перспективы цифрового мира

тальные исследования, проведенные в миллиметровом диапазоне, при очень малых плотностях потока СВЧ-энергии (не более единиц милливатт на квадратный сантиметр), выявили очень интересные специфические эффекты воздействия облучения. Почти на всех исследуемых биологических объектах было установлено, что:

- a. эффект воздействия сильно зависит от частоты СВЧ-колебаний;
- b. в определенных пределах величины СВЧ-мощности эффект воздействия слабо зависит от изменения мощности на порядки величины;
- c. наблюдается значительная зависимость эффектов от времени облучения.

Полученные результаты представляют большой научный и практический интерес. Например, установлена зависимость жизнедеятельности микроорганизмов от облучения миллиметровыми волнами. Влияние в различных участках диапазона и при различных условиях облучения может быть либо положительным, либо отрицательным. *Получаемые при облучении микроорганизмов эффекты в дальнейшем могут явиться основой новых методов получения вакцин, увеличения продуктивности методов получения антибиотиков.* Не исключена возможность применения облучения миллиметровыми волнами ожоговых поражений и других ран с нагноением для ускорения процесса заживления...».

Проведенные исследования в значительной степени подтвердили первоначальные надежды и гипотезы. Промежуточные итоги этих исследований представлены, в частности в [6], где обобщается почти сорокалетний опыт исследований в области применения низкоинтенсивных электромагнитных волн миллиметрового (крайне высокочастотного) диапазона в биологии и медицине. Рассмотрен широкий круг вопросов – от биотропных параметров миллиметровых волн до особенностей их взаимодействия с биологическими структурами и подробно анализируются механизмы взаимодействия миллиметровых волн с живыми системами.

Таким образом, вопрос влияния электромагнитных волн на организм человека интенсивно изучается несколько десятилетий, однако до сих пор для него нет консолидированной позиции научного сообщества. Острота проблемы проявляется все сильнее с учетом того, что системы беспроводной связи, использующие ЭМП, являются неотъемлемой частью жизни современного общества, а их количество только растет. И одним из самых важных вопросов является вопрос о безопасности электромагнитного излучения и его безопасных уровнях для здоровья человека.

Какие уровни излучений можно считать безопасными для биологических систем?

Уже в 1950-60 гг. на основании специально проведенных исследований во многих странах мира были введены критерии, определяющие безопасный уровень.

Энергетический критерий, согласно которому излучение считается безопасным, если его уровень не приводит к быстрому нагреванию кожного покрова. Этот уровень был определен в 1 мВт/см^2 .

В СССР (а позже в РФ) этот критерий также использовался, но проведенные исследования показали, что реально изменения в различных показателях жизнедеятельности организма наступают при значительно более низких уровнях плотности микроволнового излучения: уже при значениях $\sim 10 \text{ мкВт/см}^2$. Поэтому был введен также «информационный» порог воздействия, имеющий именно такое значение.

Как отмечалось в [3], максимальной чувствительностью к ЭМП обладают целостные организмы, меньшей – изолированные органы и клетки и еще меньшей – растворы макромолекул.

Существенные различия наблюдаются в реакции на ЭМП у одной и той же биологической системы (молекулярной, клеточной, органной или системной) в зависимости от того, в каких условиях на нее производится воздействие, когда она находится в целостном организме или в изолированном состоянии.

В этих двух случаях наблюдается различие и в характере зависимости реакции системы от параметров ЭМП.

Почему ситуация обострилась с началом внедрения систем 5G?

Первоначально введенные критерии безопасности ЭМП предназначались в основном для людей, профессионально связанных с электромагнитными излучениями и мало касались большей части населения. Ситуация кардинально стала меняться с появлением средств мобильной связи и их массовым применением. Постепенно это стало значительной проблемой, которая интенсивно обсуждается научно-техническим и медицинскими сообществами, а также общественностью. Особенно эти обсуждения стали острыми и интенсивными при переходе к системам связи 5G.

Пятое поколение мобильной связи – 5G, отличается от предыдущих поколений: многократным повышением пиковых скоростей передачи, значительно меньшим запаздыванием при передаче сигнала от источника к конечному потребителю (примерно в 100 раз от 100 мс до 1 мс), расширением возможной области частот в нижней части спектрального диапазона до 6 ГГц и возможностью использования нескольких диапазонов частот в миллиметровом диапазоне.

Поэтому те опасения, которые имелись в отношении мобильной связи предыдущих поколений, для систем 5G только обострились.

Социальные системы, как суперорганизмы, и влияние на них ЭМП

Суперорганизм – организм, состоящий из множества организмов. Обычно это социальная единица, где происходит разделение труда на ос-

4. Технологические перспективы цифрового мира

нове специализации особей, и где по отдельности организмы выжить не в состоянии.

Будем рассматривать социальные системы, например города, в качестве систем, которые являются объединением людей как организмов и образуют суперорганизм.

Согласно идее Пресмана, чувствительность объектов к электромагнитным полям растет с увеличением сложности объектов.

Можно рассмотреть следующую цепочку биологических объектов с возрастающей сложностью: вирусы, клетки, культуры клеток, органы, живое существо (человек), суперорганизм (город), как объединение людей, обменивающихся информацией.

Если на уровне организма (или его частей) воздействие микроволнового излучения начинается с уровня плотности мощностей в единицы мкВт/см², то на какие плотности мощности может реагировать город как суперорганизм?

На сегодняшний день, как нам представляется, этот уровень многократно ниже, чем тот, который задается санитарными нормами. Отсюда следует, что *реальное влияние микроволновых ЭМП мобильных систем связи на социальные организмы может начинаться при очень низких уровнях излучения, если это излучение несет принципиально важную для членов сообщества информацию.*

Действительно, каждый человек со смартфоном «привязан» к мобильной сети. Такой «парциальный» организм постоянно находится в общем для данного местоположения в пространстве электромагнитном поле. Если совокупная плотность мощности превышает допустимые санитарные нормы, то организму угрожает опасность в соответствии с механизмами, обоснованными в нормах. Когда уровень потока излучения значительно ниже порогового «информативного» уровня воздействия, но при этом таков, что обеспечивается устойчивая связь между мобильным терминалом пользователя и сетью, т.е., попадающий в терминал поток электромагнитной мощности достаточен для качественного приема сигнала, то это и есть порог воздействия ЭМП на город, как на суперорганизм.

Контроль уровня микроволнового излучения.

Персональный дозиметр «Мера»

Для безопасного использования современных средств мобильных коммуникаций нужно иметь возможность простого постоянного контроля уровня излучения в окрестности тела человека. Для обеспечения такой возможности в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН совместно с ООО «Нанохаос» был создан персональный дозиметр микроволнового излучения «Мера», по своим характеристикам намного превосходящий ближайшие зарубежные и отечественные аналоги [7,8]. Устройство позволяет осуществлять постоянный мониторинг дозы излучения, поступающей на еди-

ницу площади от средств сотовой связи, Wi-Fi сетей и других источников радиоизлучения микроволнового диапазона частот.



Характеристики дозиметра:

- чувствительность устройства 10 нВт/см^2
- возможность работы в режиме реального времени и в режиме истории
- взаимодействие с внешними устройствами через USB интерфейс
- максимальное время записи показаний 7,5 месяцев;
- диапазон рабочих частот 800 МГц – 8 ГГц
- масса устройства $< 30 \text{ г}$
- габариты $50 \times 80 \times 5 \text{ мм}$

Персональный дозиметр микроволнового излучения «Мера»

Литература

1. Гурвич А.Г. Теория биологического поля. Изд. «Советская наука». – М., 1944.
2. Кажинский Б.Б. Биологическая радиосвязь. Изд. АН УССР, Киев: 1962.
3. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. – М.: Наука, 1968.
4. Гуляев Ю.В. Физические поля и излучения человека. Новые неинвазивные методы медицинской диагностики. – М.: Фонд «Знание» им. С.И. Вавилова, 2009.
5. Девятков Н.Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн на биологические объекты// УФН. 1973. Т.110, №3, с.453-454.
6. Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. – М.: Сайенс-Пресс, 2004.
7. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Рыжов А.И., Уваров А.В. Микроволновая электромагнитная дозиметрия персонального экологического пространства // [Физические основы приборостроения. 2020. Т. 9, № 1\(35\), с.85-99.](#)
8. Дмитриев А.С., Ицков В.В., Рыжов А.И. Экспериментальная апробация персонального дозиметра микроволнового электромагнитного излучения «Мера» // [Журнал радиоэлектроники. № 7. 2020 .](#)